THE LIBRARY SMITHSONIAN INSTITUTION

THE LIBRARY SMITHSONIAN INSTITUTION

BIBLIOTHÈQUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE

L'ÉVOLUTION DE L'HUMANITÉ

Dirigée par HENRI BERR

DIRECTEUR DE LA REVUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE

LA TERRE AVANT L'HISTOIRE

LES ORIGINES DE LA VIE ET DE L'HOMME

PAR

EDMOND PERRIER

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

PROFESSEUR D'ANATOMIE COMPARÉE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

Smithsonian Institution

MAR 8 1922

253965

LA RENAISSANCE DU LIVRE

78, BOULEVARD SAINT-MICHEL, PARIS

24-23200

L'ÉVOLUTION DE L'HUMANITÉ

SYNTHÈSE COLLECTIVE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

QH
366
P45
SOA

PAR

HENRI BERR

DIRECTEUR DE LA REVUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE

Smithsonian Institution
253965
National Museum

BIBLIOTHÈQUE DE SYNTHÈSE HISTORIQUE

LA RENAISSANCE DU LIVRE
78, BOULEVARD SAINT-MICHEL, PARIS

1920

SMITHSONIAN
MAR 1 1968
LIBRARIES

SMITHSONIAN
MAR 1 1908
LIBRARIES

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Deux circonstances, très diverses, sont aujourd'hui favorables à l'Histoire Universelle : le développement des études historiques, d'une part ; de l'autre, les conditions « mondiales » de la vie des peuples.

Depuis près d'un siècle, des travailleurs de plus en plus nombreux — anthropologistes, historiens, archéologues — ont poussé en tous sens leur enquête patiente, jusqu'au plus profond du passé humain. A la longue, la connaissance accablante du détail impose aux esprits le problème de l'ensemble ; et le besoin se fait sentir impérieusement d'un point de vue ordonnateur d'où l'on domine le temps.

Mais le travail des historiens, si désintéressé qu'il puisse être, n'obéit pas seulement à une loi interne : il subit, dans une certaine mesure, des influences extérieures. Or, s'il y a un phénomène caractéristique de l'époque actuelle, c'est la solidarité humaine sur toute la surface de la terre. Notre planète semble rapetissée par la rapidité des communications, et les nations civilisées ont des rapports si étroits, soit entre elles, soit — par une colonisation intensive — avec les peuples inférieurs, que, comme dans un organisme, tout retentit sur tout. Il y a une politique mondiale, une économie mondiale, une civilisation mondiale. Et cette unité visible des groupes

humains dans l'espace, par l'espace, invite à réfléchir sur le rôle qu'a pu jouer le facteur mondial depuis les origines.

Ainsi, par delà les travaux consacrés aux faits et aux individus, aux pays et aux peuples, aux époques successives, la Terre et l'Humanité apparaissent comme objets d'étude nécessaires.

L'Allemagne, depuis une vingtaine d'années, a donné le spectacle d'une floraison de l'Histoire Universelle — sous le nom de Weltgeschichte. *Dans ce pays de l'érudition, mais aussi des synthèses aventureuses, où l'on sait mal tenir l'équilibre entre la micrographie et la métaphysique, l'ardent labeur des historiens et la préoccupation mondiale ont abouti à la publication d'œuvres nombreuses, inégales en importance et en intérêt, qui ont cherché à satisfaire et qui ont excité en même temps l'appétit d'histoire universelle. Certaines ne sont que des collections de chapitres, des répertoires sans unité, telles autres sont systématiques à l'excès; il en est de coopératives, faites en collaboration plus ou moins étroite, et il en est qu'un seul cerveau a — témérairement — réalisées. Au surplus, toutes ont leurs mérites, à quelques critiques qu'elles prêtent.*

On pouvait se demander pourquoi la France, à son heure, n'emploierait pas les ressources en hommes de science dont elle dispose, elle aussi, n'utiliserait pas surtout son génie propre, ce besoin de clair et profond savoir, pour une vaste entreprise qui embrasserait l'Humanité, depuis ses origines, et la Terre, dans toute son étendue.

L'œuvre que ces pages inaugurent — synthèse française et à la française — présentera les caractères suivants.

Elle aura une unité réelle : non seulement l'unité du sujet, — qui est l'Histoire intégrale, — mais l'unité du plan — qui liera fortement toutes les parties — et l'unité même des idées directrices. Voici, d'ailleurs, comment sera évitée l'incohérence,

ans que se renouvellent les abus de la systématisation. Ces que, dans l'état présent des connaissances, un individu ne peut accomplir seul, un individu ne doit même l'organiser qu'avec la plus grande réserve. Quelques idées présideront à l'ensemble : mais non pas idées dominatrices, imposées aux collaborateurs, et, par eux, aux faits ; idées expérimentales, bien plutôt, hypothèses immanentes à l'œuvre et, par le libre travail, l'autorité souveraine des collaborateurs, soumises au contrôle des faits. L'entreprise sera donc comme une vaste expérience qui se réalisera peu à peu, sous les yeux du public, pour le plus grand profit de la science historique, et d'où les idées proposées à l'épreuve sortiront confirmées ou rectifiées.

Dans l'unité de l'ensemble chaque partie aura son unité propre. L'ouvrage a été conçu non en gros volumes collectifs, groupant dans des chapitres plus ou moins disparates des collaborateurs divers, mais en volumes autonomes, de proportions moyennes et, par conséquent, nombreux, répondant aux grands problèmes et aux divisions organiques de l'histoire, confiés chacun autant que possible à un seul savant, d'une compétence reconnue. Chacun sera donc une œuvre lui-même, portera la marque d'une personnalité, aura d'autant plus d'intérêt qu'il aura été écrit avec plus de liberté et de joie. Chacun aura sa destinée particulière. Des ensembles de volumes auront la leur également, formeront — à des points de vue divers — un tout dans le tout, des synthèses partielles dans la synthèse intégrale. Il s'agit, en somme, de combiner les avantages d'une Encyclopédie historique avec ceux d'une Histoire continue de l'évolution humaine.

La caractéristique générale de l'entreprise ainsi posée, insistons, d'abord sur les principes directeurs de l'œuvre, ensuite sur la physionomie des volumes.

I

Science et vie : cette formule pourrait exprimer l'idéal qu'on désire atteindre.

*
* *

L'œuvre sera érudite. Non seulement elle n'offrira que le savoir le plus authentique, mais elle le présentera muni de ses preuves, — par des procédés qui seront exposés plus loin. Une synthèse d'érudition qui recueille les résultats sans indiquer les sources demande un acte de foi, puisqu'elle ne facilite pas le contrôle, et semble clore la recherche, puisqu'elle ne donne pas le mouvement pour aller au delà. Ici, en établissant l'inventaire du travail accompli, on montrera tout le travail qui reste à faire, et on procurera les moyens de le faire. Pour l'érudition, l'œuvre constituera donc, à la fois, un point d'arrivée et un point de départ.

Mais elle ne veut pas être simplement érudite : elle sera scientifique, — au sens plein de ce mot. L'érudition prépare et réunit les matériaux : la science seule les ordonne. C'est, d'ailleurs, un des problèmes les plus délicats que l'esprit humain ait eu à résoudre que celui de la constitution scientifique de l'histoire. Ranger les faits en séries dans des cadres traditionnels, raconter *des vies d'individus ou de peuples, cela n'a rien à voir avec le travail de la science, — dont le propre est de généraliser et de dégager les principes d'*explication.

Sans prétendre que la méthode de la synthèse scientifique soit actuellement fixée, en histoire, de façon définitive, on peut admettre — au moins comme hypothèse à vérifier — que les faits dont l'évolution humaine est tissée se laissent ramener à trois ordres bien distincts. Les uns sont contingents; d'autres sont nécessaires; d'autres répondent à une logique intérieure. Il semble bien qu'on mette à profit et que l'on concilie les ten

tatives d'explication les plus opposées en essayant de prouver que tout le contenu de l'évolution humaine rentre dans ces cadres généraux de la contingence, de la nécessité et de la logique; il semble que, par cette division tripartite, l'histoire trouve et son articulation naturelle et toute sa portée explicative. Cette division, en effet, ouvre des vues profondes sur la causalité. Elle invite à chercher dans la masse des faits historiques, pour la débrouiller, trois sortes de relations causales : des successions brutes, où des faits sont purement et simplement déterminés par d'autres; des rapports constants, où des faits sont liés à d'autres par des nécessités ; un enchaînement interne, où des faits sont rattachés à d'autres par des raisons. De ce point de vue sur la nature des causes qui concourent en histoire, la synthèse apparaît, non point aisée, sans doute, mais du moins concevable. Ailleurs, nous avons longuement développé cette hypothèse méthodologique (1)*; nous ne ferons ici que préciser brièvement ces indications.*

Les sociétés, pour se constituer et pour durer, sont soumises à des nécessités spéciales — qu'on appelle institutions. *Partout où il y a société, il y a institutions — au moins à l'état d'ébauche. Dans toutes les sociétés se retrouvent les mêmes institutions fondamentales, sous des formes variées : encore la diversité des formes n'est-elle pas illimitée, dans ce qu'elle a de caractéristique, et s'explique-t-elle en partie par des différences dans la structure même des sociétés, — c'est-à-dire dans le nombre des unités sociales et leur degré de concentration. La « sociologie », lorsqu'elle est consciente et rigoureuse, considère les sociétés* en tant que sociétés *seulement. L'œuvre propre du sociologue, c'est l'étude de l'organisation sociale, — faite d'un point de vue comparatif. Pour mieux définir les fonctions essentielles de la société qui se traduisent en institu-*

(1) La Synthèse en Histoire, Essai critique et théorique, *Alcan, 1911.*

tions, pour préciser davantage le rapport de ces fonctions avec la structure sociale et leurs rapports réciproques, elle isole l'élément social de l'histoire. Elle est un aspect de la synthèse historique, mais elle n'en est qu'un des aspects. La synthèse historique plénière remet cet élément, les nécessités ou lois sociales, en contact avec les autres éléments de l'histoire, que négligent — ou parfois nient — les purs sociologues.

Il importe, d'ailleurs, quand on s'attache à discerner les divers éléments explicatifs, de faire la distinction suivante : si les institutions sont toujours de fabrication *sociale, en quelque sorte, portent la marque de la société, il ne s'ensuit pas que toujours elles expriment des nécessités spécifiques de la société et répondent à des fonctions véritables ; tout ce qui prend, au cours de la vie des sociétés, la forme institutionnelle, n'est pas d'*essence *sociale.*

C'est une fonction essentielle de la société que la fonction juridico-politique, *— qui se différencie en fonctions politique, juridique et morale — : elle n'a de raison d'être que dans et pour la société, et elle en est comme l'armature même. Bien que les institutions économiques répondent aux nécessités propres de l'individu, — nécessités de subsistance, puis besoins de jouissance et de luxe, — on peut parler d'une* fonction économique *des sociétés ; théoriquement, on pourrait même considérer cette fonction comme primordiale : car la société ne s'est peut-être organisée que pour donner à ces besoins de l'individu une satisfaction plus sûre et plus complète par des moyens appropriés et qui substituent, dans une large mesure, la coopération et la division du travail à l'effort individuel. Mais on ne peut parler de fonction mentale ou esthétique des sociétés, bien qu'il se soit produit des institutions en vue de l'art et de la science. La société ne* pense *pas. Le développement mental, comme le développement esthétique, — depuis la technique la plus rudimentaire jusqu'à l'épanouissement de la philosophie, de la science et de l'art, — repose essentielle-*

ment sur les facultés de l'individu : il est humain, et non social. Au surplus, ce développement humain n'est possible que dans la société : il y a entre l'humain et le social action et réaction; et c'est un problème qui se pose avec les origines mêmes de la pensée que celui des rapports de l'individu — en tant qu'être pensant — et de la société. Il se pose particulièrement à propos de cette catégorie, si complexe, de phénomènes qu'on nomme religieux. Pas plus que d'une fonction mentale ou esthétique, nous ne croyons qu'on puisse, malgré les apparences, parler d'une fonction religieuse des sociétés. La religion est constituée, en son fond, par un système solidaire de croyances et de pratiques relatives à un milieu, à des forces qui entourent l'homme et le dépassent; en d'autres termes, elle est une interprétation des choses, sur laquelle tend à se régler l'activité des hommes. Elle exprime les inquiétudes les plus hautes de la pensée débutante, et elle y amalgame des éléments psychiques variés. Elle est d'essence humaine, — mais elle est fortement socialisée : il ne lui suffit pas d'avoir ses institutions propres, elle se mêle aux diverses fonctions de la vie sociale. En somme, elle consolide tout ensemble le lien social et l'humble mentalité primitive, — et elle les consolide l'un par l'autre. Mais en affermissant la pensée, elle l'enserre et tend à l'opprimer : aussi l'individu travaille-t-il soit à transformer les institutions religieuses, soit à s'en dégager en quelque mesure; et c'est par ces reprises individuelles que se développent précisément l'art, la philosophie et la science.

Si donc l'étude du facteur social est comme la base de la synthèse historique, puisque la société est un milieu nécessaire à l'homme et un élément de constance, de régularité dans l'histoire, — il apparaît clairement, d'autre part, que l'évolution de la société, — même en tant que société, — que ses complications ne sont intelligibles que lorsqu'on prend en considération d'autres facteurs. Il faut faire intervenir ce facteur logique, dont abusaient jadis — sous les noms de finalité ou

d'Idée — les philosophes de l'histoire, et ce facteur contingent, auquel les purs historiens se complaisent d'une façon trop exclusive, — autrement dit des principes de changement, de changement fortuit *et de changement* orienté.

Les contingences modifient la structure des sociétés humaines, retentissent sur les institutions ou agissent directement sur elles. Elles sont en nombre infini dans l'histoire, mais elles peuvent être ramenées à certaines catégories générales : événements fortuits, rôle des individus en tant qu'individualités, dispositions collectives temporaires, conditions ethniques et géographiques. Or, ni ces diverses catégories, ni, dans chaque catégorie, les diverses contingences ne sont d'égal intérêt pour l'historien qui veut expliquer. *Leur importance se mesure à l'ampleur et à la durée de leur action : du point de vue de l'évolution humaine, les milieux, les races, les époques peuvent être classés ; du même point de vue, les individus et les événement peuvent être triés : il y en a d'insignifiants et il y en a de considérables. L'intelligence ne saurait dominer et systématiser le passé qu'à condition de pratiquer des éliminations, — comme le hasard l'a fait, l'a trop fait, pour les époques lointaines. Il faut laisser retomber à l'oubli une partie de ce qui en a été tiré.*

*En laissant retomber ces contingences négligeables, on voit apparaître mieux le rôle de la logique dans l'existence des sociétés. C'est le facteur logique qui est explicatif, au sens le plus profond du mot. C'est lui qui donne à l'évolution sa continuité réelle, sa loi intérieure ; c'est par rapport à lui, précisément, c'est dans la mesure où elles le servent ou le contrarient, que les contingences prennent leur valeur foncière : celles-ci amènent de l'*autre *; celui-là seul produit du* nouveau, *seul il est créateur. — Et le principe d'où procède toute logique, le moteur véritable de l'histoire, — comme de la vie, — on ne saurait le trouver, semble-t-il, que dans la tendance à être, à maintenir et à amplifier l'être. La vie n'est pas quelque chose de passif*

et, pour ainsi dire, de vide : elle est tendance et elle est mémoire. Quand elle réussit, elle retient *les moyens de sa réussite. La logique, dans le sens étroit du mot, c'est le bon usage de l'esprit ; au sens large, c'est l'activité conforme aux tendances fondamentales de l'être, qui use de moyens appropriés. Émanée donc du tréfonds de la vie, l'activité logique aboutit à l'entr'aide aussi bien qu'à la lutte, s'épanouit dans l'instinct social plus que dans l'égoïsme, — crée, en définitive, la société elle-même.*

Une fois la société constituée avec ses lois spécifiques, le principe qui l'a fait naître la fait se développer. Cette même logique qui fonde l'organisme social produit en grande partie les phénomènes internes de crise et de réforme, d'évolution politique, juridico-morale, économique. Et elle se manifeste dans l'activité extérieure des groupes humains, dans les rapports intersociaux, par divers phénomènes d'un intérêt historique capital. — C'est le phénomène de « migration », — dont ne suffisent pas à rendre compte les pressions du milieu géographique, mais qui, dans une « volonté de changement », exprime l'inquiétude du mieux-être, le désir d'un habitat favorable à la vie, sans doute aussi l'ambition d'élargir le cercle du connu et de prendre davantage possession de la terre. C'est le phénomène d' « impérialisme », — qui, dans une « volonté d'accroissement », tend, pour des fins diverses, à la prise de possession d'une portion plus ou moins grande d'humanité : il y a, d'ailleurs, des modes variés d'impérialisme, les uns plus contraignants, les autres plus assimilateurs. Ce sont, enfin, les phénomènes de « réception », de « renaissance », de « coopération » internationale, — qui, dans une « volonté de culture », tendent à unir les sociétés, à travers l'espace et le temps, pour la prise de possession de la nature et son adaptation aux fins humaines, qui les rendent de plus en plus solidaires dans la création et la multiplication des « valeurs » de toutes sortes.

A propos des manifestations de cette logique sociale, — qu'il

s'agisse de la vie interne ou de l'activité extérieure des sociétés, — une question se pose, importante et délicate, qui se posait déjà à propos de l'évolution mentale, celle du rôle de l'individu, de ses rapports avec la société. On a vu que le développement de la mentalité introduit dans l'organisation sociale des éléments qui sont d'origine humaine, — c'est-à-dire individuelle, — et qui revêtent la forme « institutionnelle », sans que, d'ailleurs, l'individu aliène jamais totalement sa faculté propre de penser. Or, agent de logique mentale, l'individu l'est aussi, semble-t-il, de logique sociale. Ces institutions, qui apparaissent comme quelque chose d'objectif et, dans une large mesure, de contraignant, ces actes du groupe, qui apparaissent comme jaillissant de la volonté collective, n'échappent pas entièrement à la conscience de l'individu. Qu'est-ce que la con science sociale », en somme, pour qui ne veut pas être dupe des mots, sinon la représentation de la société dans les consciences individuelles? Les phénomènes les plus éclatants de la vie sociale, qui naissent de ce qu'on peut appeler des « états de foule », comportent, si effacée soit-elle, une participation active de l'individu. Dans ces états, — qui sont essentiellement affectifs, — quoique les représentations individuelles s'avivent et s'harmonisent par l'émotion commune et que, jusqu'à un certain point, l'unité de conscience soit momentanément réalisée, il peut se trouver pourtant, il se trouve toujours, sans doute, des individus qui, éprouvant à un degré supérieur les besoins du groupe, en précisent et en orientent la manifestation; qui, par conséquent, ne sont pas de simples éléments de la société, mais de véritables agents *sociaux. Et en dehors de ces états de foule, — qui, pour des raisons multiples, deviennent de moins en moins fréquents au cours de l'histoire, — la représentation de la société n'est-elle pas singulièrement inégale en intensité et en précision dans les diverses consciences individuelles? La société, répétons-le, ne pense pas; c'est l'individu qui pense : aussi peut-il être plus*

encore qu'agent social; il peut être initiateur, inventeur *social. La logique mentale et la logique sociale ont la même source profonde, et elles se rejoignent ici. Née des réussites de l'action, la pensée s'emploie, dans l'individu, à servir l'action, à perfectionner la vie sociale. Il est difficile de contester l'efficacité pratique des idées : il importe de la déterminer.*

En somme, débrouiller l'écheveau compliqué de la causalité; distinguer les « rencontres » ou le « donné » pur de l'histoire, les institutions ou les nécessités sociales, les besoins ou les raisons profondes qui affleurent en idées dans la conscience réfléchie; étudier le jeu de ces divers éléments, — contingents, nécessaires, logiques, — leur action réciproque et ce qu'on peut appeler le réarrangement des causes : voilà quel devrait être l'objet essentiel de cette synthèse. — Gardons-nous bien, pourtant, de trop promettre. A vrai dire, l'histoire universelle — en raison de son étendue, de sa complication, de ses lacunes, de l'obligation du travail collectif — ne permet point la solution complète de ces problèmes. Ce sont des études plus restreintes, et en même temps plus pénétrantes, qui peuvent donner les démonstrations décisives. Mais, pour que les études particulières s'orientent convenablement, il est utile d'avoir imprimé à l'ensemble de l'histoire la bonne direction. C'est pourquoi on s'efforcera ici, tout au moins, de faire le contraire d'une œuvre unilatérale, de ne négliger aucun des éléments explicatifs, de donner à chacun d'eux, par un dosage attentif, la part qui lui revient. A la distribution des matières, à la détermination des cent volumes présideront donc bien des hypothèses organisatrices. Indiquées au début, rappelées çà et là en des pages d'avant-propos, elles serviront de fil conducteur, — mais discrètement. Il ne siérait pas d'appuyer trop. Encore une fois, les collaborateurs seront libres; et leur liberté même assurera sa pleine-valeur à l'entreprise. Ce ne

sera pas une expérience arrangée, — non plus qu'une simple expérience « pour voir », selon l'expression de Claude Bernard. S'il ne s'agit pas de résoudre les problèmes à tout prix, il s'agit de les poser et de mettre dans l'histoire universelle comme un levain de science véritable.

*
* *

Profondément scientifique d'intention, l'œuvre n'en sera pas pour cela moins vivante. On s'imagine à tort que la science, en histoire, est l'opposé de la vie et que la résurrection du passé est un privilège de l'art. C'est l'analyse qui émiette le passé en une poussière de faits : ce que l'érudition recueille est sauvé de l'oubli, non de la mort. La synthèse ressuscite, autrement que l'intuition, et mieux. La tâche ainsi définie par Michelet : « résurrection de la vie intégrale, non pas dans ses surfaces, mais dans ses organismes intérieurs et profonds », le génie ne suffit pas à la remplir ; la science le peut faire, en approfondissant la théorie de la causalité et en cherchant, dans la synthèse, à reconstituer le jeu des causes.

Cette ambition animera donc notre œuvre, de faire comprendre, par ses causes, et de faire suivre le mouvement progressif — non pas continûment et absolument, mais dans l'ensemble et à certains points de vue progressif — qui donne un sens à la vie de l'humanité. Les faits de toutes catégories — qu'isolent les histoires spéciales et qui, dans les histoires générales, constituent le plus souvent une mosaïque de chapitres juxtaposés — seront ici considérés dans leur rapport avec l'être intime, avec les besoins permanents et le caractère individuel des sociétés diverses. Et ces sociétés, d'autre part, seront considérées non pour elles-mêmes, mais dans leur rapport avec les grandes transformations de l'humanité. Ce n'est pas que nous fassions de celle-ci une entité ou une idole. Mais les modalités et le progrès de la vie, sous la forme humaine,

dans les sociétés, — voilà l'objet propre de la science historique. On n'entend pas autre chose, en somme, par la « civilisation » ou la « culture », — mots commodes mais vagues. Nous ne nous priverons pas d'employer le terme de civilisation; et comme on ne saurait partir d'une définition précise, nous lui donnerons au cours des volumes son sens large, — complexité croissante de la vie, — en comptant sur l'œuvre même pour faire apparaître ce qui, dans cet ensemble complexe, est essentiel, et pour déterminer le droit fil du progrès.

Par un souci de beauté et d'efficacité pleines, nous nous sommes imposé ici une difficulté pratique. La publication suivra l'ordre même du plan général. Il aurait été bien plus aisé, ce plan une fois conçu, de publier au hasard de leur achèvement les volumes qu'il comporte; mais nous n'aurions pas produit une œuvre : nous aurions seulement formé une collection. Avec le principe adopté, les auteurs — comme le public — prendront un intérêt plus vif à l'entreprise. Ils seront mis en mesure d'ajuster leur ouvrage aux ouvrages voisins et, si personnelle que puisse être leur contribution, de l'engrener dans l'ensemble. Sans doute, il y a des sujets dont la place ne s'impose pas étroitement; mais, en dehors d'un nombre très limité de cas, nous ferons tout pour que les volumes paraissent dans l'ordre établi et surtout pour qu'ils ne chevauchent jamais d'une série sur l'autre.

Nous entendons par séries *des groupements de volumes, constitués à des points de vue divers — sur lesquels il convient de fournir quelques indications.*

C'est un problème très délicat que celui des divisions de l'Histoire Universelle dans leur rapport avec le temps, — Periodisierung der Weltgeschichte, *disent les Allemands — : il y a là toutes sortes de défauts et de partis pris à éviter. Les divisions chronologiques sont des cadres commodes et même nécessaires; mais, poussée trop loin, la préoccupation chronologique tend, d'une part, à morceler l'étude des régions et des*

peuples et, d'autre part, à mettre sur un même plan des phénomènes d'inégale importance au point de vue de la culture (Lavisse et Rambaud). Si la chronologie est subordonnée à des préoccupations géographiques ou ethniques, la trame est brisée : on a une collection d'histoires, — par parties du monde (Helmolt) ou par peuples (Duruy ; Oncken; Heeren, Uckert, Von Giesebrecht et Lamprecht), — non une histoire universelle. Quand, au contraire, la chronologie est subordonnée à la logique, la trame se noue trop étroitement : on a une synthèse métaphysique et non scientifique de l'histoire. Les divisions purement logiques, — soit qu'elles prêtent à l'humanité, par un choix de centres de civilisation ou de races prépondérantes, une succession de périodes pour ainsi dire emboîtées (Philosophie de l'histoire, Hegel), soit qu'elles prêtent à tous les peuples une succession de périodes identiques (Lamprecht) ; qu'elles aboutissent au progrès continu (Philosophes allemands) ou au retour éternel (Vico) avec ou sans progrès, — ces divisions sont arbitraires, condamnables, condamnées : pourtant on les voit toujours renaître, sans doute parce qu'elles répondent à un élément de la réalité historique.

Pour notre part, nous cherchons à concilier les préoccupations diverses. Nous aurons quatre grandes sections chronologiques : introduction (préhistoire et protohistoire), antiquité ; origines du christianisme et moyen âge; époque moderne; époque contemporaine. Chacune d'elles comprendra le même nombre de volumes, à peu de chose près, quoiqu'elles doivent embrasser des périodes de plus en plus courtes. Cette économie de l'œuvre se justifie aisément, tant sont inégales et les ressources dont on dispose pour étudier ces périodes, et l'utilité pratique qu'offre leur étude respective.

Dans nos sections, des divisions secondaires et, dans ces divisions, les unités seront agencées de façon à satisfaire, le mieux qu'il sera possible, les intérêts de la géographie, de l'ethnographie — ou de la psychologie des peuples — et de la

logique. Sans doute, la préoccupation de l'ensemble, de l'évolution humaine, sera partout visible; et, par la nature même des choses, elle éclatera de plus en plus, puisque, comme nous l'avons remarqué précédemment, la solidarité humaine est de plus en plus manifeste : mais, au cours de l'histoire, la lumière sera projetée successivement, projetée au moment opportun et dans la mesure voulue, sur les parties de la terre et sur les peuples dont l'influence deviendra sensible ou prépondérante. Quant à la logique, si notre conception de la causalité lui ménage une large place, c'est en lui enlevant tout caractère métaphysique et a priori *: elle n'est pour nous qu'un de ces éléments positifs de l'histoire dont le rôle demande à être déterminé. Aussi bien, le principe de division fondamental, ici, n'est-il pas d'ordre intime? Ne dérive-t-il pas, précisément, de la nature complexe de la causalité historique? On le sait déjà, notre principal souci sera de faire partout ressortir l'effet des grandes contingences, la pression des nécessités sociales, l'action profonde du facteur psychique, — besoins et idées, — et de mettre ainsi en évidence, non pas une continuité de progrès, mais le jeu triple des causes permanentes et les résultats de ce travail continu* (1).

Notre œuvre, tout en rendant les services d'une Encyclopédie, sera autre chose, on le voit, qu'une Encyclopédie. Si un peu de science stérilise l'histoire, beaucoup de science doit la vivifier. La préoccupation des causes générales, éternelles, qui peut rehausser la recherche la plus humble, donnera ici à la Synthèse non seulement toute sa dignité,

(1) *Le plan une fois tracé dans ses grandes lignes, je l'ai soumis au jugement de quelques amis. Puis, au cours de l'attribution des volumes, j'ai recueilli les avis des spécialistes. Ainsi, tout en restant fidèle aux préoccupations initiales, j'ai mis à profit l'expérience de savants nombreux, les suggestions d'esprits très divers. Je tiens à citer, parmi ceux qui ont été le plus intimement associés à ce travail d'élaboration, mes amis Paul Lorquet, L. Barrau-Dihigo, Lucien Febvre, Abel Rey. A eux et à d'autres le plan devra une partie de ses mérites : de ses défauts j'assume seul la responsabilité.*

mais son plein intérêt et comme un attrait dramatique. Il s'agit, en somme, de refaire, derrière l'humanité, le chemin qu'elle a suivi; il s'agit de le refaire, — ce chemin que l'instinct aveugle, que des puissances obscures, que des circonstances multiples lui ont imposé, — en comprenant pourquoi elle l'a parcouru. Sur la route des temps, parmi les efforts, les ambitions, les luttes, les destins divers des groupes, malgré les piétinements, les détours et les reculs, l'humanité monte. En montant, elle embrasse de plus haut l'horizon; elle tâche, avec les historiens, à se situer dans l'espace et la durée, à prendre conscience d'elle-même, à savoir pour pouvoir mieux. Ainsi une entreprise comme celle-ci est un acte. Et si l'historien a le devoir, comme savant, de recueillir les faits et de rechercher les causes objectivement, impassiblement, il a le droit, comme homme, de se passionner pour son travail et de l'animer d'une flamme intérieure.

Puisque notre œuvre devait avoir ce caractère vivant, un dernier problème se posait à nous. Fallait-il se contenter d'un texte nu et rejeter absolument l'image, ou fallait-il utiliser l'illustration et procurer au texte ce surcroît d'intérêt et de vie ?

L'illustration a ses dangers. Quelques images semées dans un volume lui donnent un aspect plus aimable, ou plus frivole, mais n'en rehaussent pas nécessairement la valeur. Beaucoup d'images finissent par faire la loi au volume, en commandent le format, les proportions, et risquent de réduire le texte au rôle de commentaire. Cependant l'image a une vertu non, douteuse. La résurrection du passé dans ses organismes intérieurs et profonds implique bien la vision, à quelque degré des êtres et des milieux. Michelet est le « voyant », non pas seulement des âmes mais des formes. Or, s'il convient de remplacer la dangereuse intuition psychologique par la recherche méthodique des causes, peut-être convient-il aussi

de remplacer ou d'aider la dangereuse vision imaginative par la contemplation d'images authentiques.

Quand, dans nos volumes, le texte serait obscur, incomplet sans cet auxiliaire, la figure utile se trouvera à la place opportune. A certains volumes qui, par leur sujet, demandent davantage, des planches de reproductions pourront être jointes en appendice. Du reste, le rôle de la figure, ici, sera toujours accessoire. Mais nous prévoyons qu'elle pourra prendre sa pleine importance dans une suite d'Albums qui constitueraient, parallèlement aux quatre sections de l'œuvre, une Évolution de l'Humanité par l'image. — Sans doute, l'Album historique n'est pas une nouveauté : mais nous jugeons possible de lui donner une valeur nouvelle par le choix des documents reproduits, par leur disposition surtout, par une préoccupation constante, en faisant percevoir les aspects divers de la vie, de faire apparaître ces grandes transformations de l'humanité que notre œuvre a pour but d'expliquer.

II

Chaque volume, avons-nous dit, aura son intérêt propre, son unité.

Chaque volume, pour une période ou une question de l'histoire, sera l'inventaire de ce qui est fait, de ce qui reste à faire.

Chaque volume contiendra une Bibliographie, — non pas intégrale, bien entendu, mais suffisamment complète pour procurer aux travailleurs, avec les indications essentielles, le moyen de trouver le surplus. Les articles de cette Bibliographie seront numérotés. Au cours du volume, dans les notes, les références — autant que possible — seront faites par chiffres : chiffre de l'article bibliographique, chiffre de tomaison, — s'il y a lieu, — chiffre de pagination. Mises bout à bout,

séparées simplement par des tirets, ces références pourront être multipliées sans envahir et encombrer le livre.

Par cette disposition sera rendue réalisable notre double fin : satisfaire les esprits scientifiques et servir les travailleurs, tout en nous adressant au grand public cultivé, curieux des destinées de l'humanité. L'exposé des résultats acquis, dans un texte aussi clair, aussi vivant que possible, remplira largement les pages : l'amateur d'histoire y trouvera son compte ; il échappera même à l'involontaire distraction que donnent des notes immédiatement intelligibles. Pour être utilisées, nos références chiffrées exigeront une recherche dans la Bibliographie : mais ainsi, sous une forme économique, l'auteur aura pu justifier l'essentiel de son texte ; et, au prix d'un léger effort, le lecteur historien remontera, s'il le veut, aux sources, soit pour vérifier le contenu du livre, soit pour pousser le travail au delà du point où l'auteur l'aura mené.

Les ouvrages sans références, les synthèses où la bibliographie se trouve, tout au plus, au début ou à la fin des chapitres, sans notes courantes, sont assez à la mode pour l'instant, — en Allemagne, et ailleurs, — par réaction contre les excès de l'annotation érudite. Mais cet excès opposé nous paraît dangereux. Dans ces conditions antiscientifiques, il faut, comme nous l'avons dit, croire l'auteur sur parole : or celui-ci, quelque scrupuleux qu'il puisse être, se laissera aller, dans bien des cas, à grouper les faits artificiellement, à présenter des hypothèses pour des certitudes. Qu'il s'agisse des faits ou de l'explication des faits, le certain, le probable, le possible doivent être soigneusement nuancés et toujours proposés comme tels à la critique.

La préoccupation du travail ultérieur, de ce qui reste à faire, apparaîtra, du reste, avec le dernier chapitre de chaque volume, de façon éclatante. Il sera destiné à montrer les lacunes qui subsistent, les questions qui se posent dans les divers domaines, pour les diverses périodes de l'histoire, les publi-

cations urgentes, les recherches, explorations, fouilles qui, peut-être, par des trouvailles nouvelles, éclaireraient des points obscurs. L'ensemble de ces cent chapitres de conclusion aura des avantages multiples. Non seulement il fournira aux spécialistes d'utiles directions, leur offrira en abondance des sujets à traiter, mais il donnera aux bonnes volontés incertaines le moyen de s'employer efficacement. On pourrait souhaiter que cette vue générale du chantier historique aboutît à une meilleure organisation de l'effort, à une répartition plus opportune des équipes, et orientât vers des régions négligées de la science une partie des travailleurs dont quelques domaines sont encombrés.

Enfin, même au public simplement curieux, cet inventaire sera profitable : il procurera une notion saine de l'état présent et de l'avenir des études historiques. Personne ne pourra, naïvement, s'imaginer que, dans cette Synthèse, en cent volumes, l'histoire est faite. L'histoire se fait : elle se fait comme connaissance du passé par l'érudition et comme explication du passé par l'étude des causes. La connaissance du passé, actuellement bien incomplète, le sera toujours, tout en progressant constamment : de ce qui a été, de ce qui a vécu, de ce que le temps a créé et ensuite aboli, une faible portion peut être évoquée. Mais les problèmes scientifiques que pose le passé se préciseront peu à peu, finiront même par être résolus au cours de l'enquête indéfinie. Et voilà comment le public — aussi bien que les historiens — doit concevoir l'histoire-science ou la synthèse : la détermination, la solution graduelle de problèmes limités, relatifs à un objet sans limites et en partie inconnaissable.

III

Ainsi notre entreprise peut beaucoup, semble-t-il, pour un progrès décisif dans l'étude de l'évolution humaine : elle tend au bon aménagement du travail, à l'élaboration d'une méthode vraiment scientifique; elle veut initier le public à ce que l'histoire tout ensemble a de plus sérieux et de plus captivant. Dans les sciences de la nature, les recherches de laboratoire, si techniques et ingrates soient-elles, aboutissent à des théories ou à des résultats pratiques auxquels personne, parmi les profanes, ne demeure indifférent : aussi les encouragements de toute espèce ne manquent pas à ceux qui les cultivent. Parce qu'elle est trop érudite et trop peu scientifique, l'histoire des savants est devenue une spécialité aride dont le public se désintéresse, tandis qu'il accueille les ouvrages anecdotiques ou romanesques que d'habiles vulgarisateurs lui font prendre pour la vraie histoire.

Grâce aux collaborateurs éminents que groupe cette œuvre, peut-être y aura-t-il quelque chose de changé. Notre programme est immense, et notre ambition paraîtra téméraire à certains. Mais il faut oser. On parle beaucoup, depuis quelque temps, de « renaissance française » : il est visible que le goût de l'action, que la confiance dans les énergies spontanées de la vie se sont ranimés chez nous. Cette disposition aurait un côté inquiétant si, comme quelques-uns l'annoncent, elle devait être anti-intellectualiste. Il convient que ce besoin d'agir et ce réveil d'énergie se manifestent aussi par le courage intellectuel. La vie s'épanouit dans la connaissance. Et une science historique virilement comprise — conscience réfléchie de l'humanité — est nécessaire pour diriger les puissances tumultueuses de l'instinct.

Janvier 1920.

Cette introduction — rédigée et imprimée, avec de légères différences, dès 1913 — est donnée ici telle qu'elle aurait paru en octobre 1914, sans les événements qui ont bouleversé le monde.

Nous n'avons rien à y changer. La « renaissance française » dont nous parlions s'est manifestée, dans le domaine de l'action, avec un éclat incomparable. Elle a abouti à la victoire de la France et, par elle, à la victoire d'une forme de civilisation. La guerre de 1914-18 est, dans l'évolution de l'humanité, dans l'histoire mondiale, un point d'arrivée, un point de départ. Elle se raccorde au plan de cette œuvre ; elle le fortifie et le couronne d'une façon inespérée : elle lui fournit une admirable conclusion.

Nous désirions opposer aux tentatives allemandes de Weltgeschichte *une entreprise française, conçue et réalisée à la française. Et nous voulions donner un exemple de courage intellectuel. Plus que jamais notre initiative semblera opportune. Il faut que, dans ce domaine aussi, la vitalité de la France se manifeste. Il faut que, dans ce domaine aussi, notre supériorité sur l'Allemagne éclate. Malgré ses mérites, la science allemande s'est compromise souvent par sa subordination à des fins égoïstes. Il y a eu des « vérités allemandes ». La science française n'est pas nationale : elle est l'apport d'une nation au trésor intellectuel de l'humanité. Elle se voue à la recherche de la vérité intemporelle et sans patrie* (1).

Les collaborateurs de cette entreprise se sont remis au travail avec une ardeur accrue, avec un sentiment plus vif de

(1) *Nous avons précisé l'opposition des mentalités française et germanique dans* Le Germanisme contre l'Esprit français, Essai de psychologie historique, *919.*

leurs responsabilités. Mais il y a, parmi eux, des vides cruels. Un hommage doit être rendu ici à ces savants qui ont quitté la tâche familière et aimée, avec tant de sérénité ou d'enthousiasme, pour courir les risques de la longue et dure campagne, à ceux surtout qui sont tombés pour sauver, avec la France, la science, — telle qu'ils la comprenaient.

*Nous ne pourrons, au début de notre publication, suivre aussi strictement que nous nous l'étions proposé l'ordre de notre plan. Des interruptions forcées, des remplacements que la mort ou le jeu des circonstances ont entraînés, retarderont certains volumes. Pourtant, nous nous écarterons du plan le moins possible ; et nous maintiendrons cette unité de la conception qui fera de l'*Évolution de l'Humanité, *comme nous l'avons dit, une œuvre, — et non une simple collection, — une synthèse, — et non un assemblage de monographies.*

AVANT-PROPOS

DE LA PREMIÈRE SÉRIE

Nous n'avons pas à justifier dans son ensemble le plan de notre première Section : il s'imposait. Nous donnerons avant chacune des Séries les explications qui nous sembleront utiles.

En ce qui concerne la première, nous tenons à faire observer qu'elle n'a pas seulement pour objet de résumer ce qu'on sait sur les origines humaines, prises d'aussi haut qu'il est possible. Elle est une Introduction, en même temps qu'à l'Histoire même, aux problèmes de l'Histoire.

Pour notre premier volume, en particulier, sa raison d'être, c'est d'abord de rattacher cette Histoire, entendue au sens étroit et courant du mot, à l'Histoire entendue au sens le plus large, de relier l'évolution de l'Humanité à l'évolution de la Vie sur la Terre, à l'évolution de notre planète dans l'Univers; c'est de « situer », en quelque sorte, l'Humanité, pour que sa destinée n'apparaisse pas comme une aventure et « un épisode sans lien » : mais c'est surtout de faire ressortir les grandes forces naturelles et les facteurs permanents qui, expliquant la Terre et la Vie, expliqueront *ensuite l'évolution de l'Homme et des Sociétés.*

On verra se constituer dans le système stellaire le « milieu » de notre histoire; dans ce milieu, détaché du soleil et qui en reste dépendant, on verra la vie naître, — par l'action, semble-t-il, du soleil lui-même, — pousser en tous sens ses tâtonnements, essayer les formes les plus diverses. On la

verra — sous l'influence complexe des différents habitats, des innombrables hasards, de ses propriétés internes : l'hérédité, principe conservateur, mais qui se tourne en agent de changement, la tendance, *principe actif, qui s'exprime dans la faculté d'assimilation, d'association, au même titre, et plus efficacement, que dans la lutte — réaliser toutes sortes de perfectionnements, aboutir, avec la forme humaine, à un progrès décisif, par le développement du cerveau.*

Sujet immense, qui exigeait une richesse et une variété de connaissances exceptionnelles, une rare puissance de synthèse, et que peut-être seul l'auteur de ce volume était capable de traiter. Celui qui a écrit en 1881 Les Colonies animales et la formation des organismes *et qui, dans la chaire de Lamarck, a toujours « suivi avec sollicitude les efforts de la doctrine transformiste pour arriver à une explication du monde vivant »* (1), *a su, au sommet de sa belle carrière, établir, dans ce vigoureux raccourci, le trait d'union biologique entre les sciences physiques et l'histoire.*

On ne s'étonnera pas que ce volume ne soit pas tout à fait conforme au type que nous avons défini, que ses proportions dépassent un peu la mesure prévue, que la bibliographie y soit très réduite (2), *que la conclusion ne détaille pas les lacunes de la connaissance : bibliographie et liste des problèmes à résoudre seraient infinies, si elles ne se limitaient pas étroitement, en une matière qui embrasse des millions d'années.*

D'une façon générale, dans les volumes de cette première Série, les sujets, par leur ampleur et leur complexité, ne comportent pas un traitement identique à celui des volumes, plus proprement historiques, qui viendront ensuite.

(1) Le Transformisme, *Préface (1888).*

(2) *Elle date de 1914, comme le livre entier, — qui, sauf la Conclusion, était imprimé au moment de la guerre.*

LA TERRE AVANT L'HISTOIRE

LA TERRE AVANT L'HISTOIRE

LES ORIGINES DE LA VIE ET DE L'HOMME

PAR

EDMOND PERRIER

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES ET DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
PROFESSEUR D'ANATOMIE COMPARÉE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE

LA TERRE AVANT L'HISTOIRE

LES ORIGINES DE LA VIE ET DE L'HOMME

PREMIÈRE PARTIE

LA FORMATION DE LA TERRE

CHAPITRE PREMIER

LA NAISSANCE DE LA TERRE

Nous ne savons de l'étendue de l'Univers que ce que nous en apprend la lumière des étoiles. A la vitesse de 75 000 lieues par seconde, celle de la plus proche d'entre elles met deux ans à nous arriver ; nous ignorons à quelle distance sont les plus lointaines ; nous ne pouvons même pas affirmer que leur éloignement soit inversement proportionnel à leur éclat, ni dire combien de chiffres il faudrait pour exprimer leur distance en kilomètres. Quelle que soit la nature de la lumière, nous sommes certains, d'ailleurs, qu'elle ne peut arriver des étoiles jusqu'à nous que portée par un « on ne sait quoi » qui emplit l'espace. On pouvait penser autrefois que cet « on ne sait quoi » était la substance même de la lumière. On a aujourd'hui les plus fortes raisons de croire qu'il existe par lui-même ; on lui donne le nom d'*Éther* et on l'imagine formé de particules si petites

qu'un atome matériel est immense par rapport à elles. Ces part cules sont susceptibles d'osciller chacune autour d'un point fixe dont elles ne peuvent que faiblement s'éloigner. Leurs oscillations régulières, qui se propagent dans la substance de l'éther comme se propagent dans l'eau les ondulations provoquées par la chute d'une pierre, constituent la lumière. La lumière du Soleil, celle qui vient des diverses étoiles, entretiennent dans l'éther des vibrations qui se croisent dans toutes les directions sans jamais se mêler; mais ce ne sont pas les seules qui traversent ce milieu, siège d'une prodigieuse agitation. C'est par son intermédiaire que les astres s'attirent, que les taches du Soleil agissent sur nos aiguilles aimantées, et l'on en est arrivé à se demander s'il n'était pas le substratum de la matière. Contrairement à une croyance qui semblait devoir être définitive, l'étude du radium a démontré que la matière n'est ni éternelle ni immuable. Les atomes du radium se détruisent spontanément et donnent naissance à de l'hélium et à de l'hydrogène. Cette destruction libère une quantité d'énergie suffisante pour agir à distance, toujours à travers l'éther, sur d'autres atomes. Lord Rayleigh pense que, dans les séries de métaux parents que Mendeleef a constituées, les atomes des métaux les plus lourds sont ainsi brisés et laissent pour résidus des atomes de métaux plus légers : l'argent pourrait être de la sorte transformé en plomb, le plomb en carbone, le thorium en bismuth et peut-être l'or en cuivre. Les atomes sont donc susceptibles de se transformer, de se disloquer et de disparaître.

Puisque la matière peut se transformer et même disparaître, on est en droit de se demander comment elle a pu apparaître. Déjà, les phénomènes qui se produisent dans les tubes de Crookes d'où s'échappent les rayons X, démontrent jusqu'à l'évidence que les atomes matériels ne sont nullement quelque chose de simple. Parmi les hypothèses qui ont été présentées sur leur constitution, on peut accepter qu'ils sont formés de petites masses matérielles infimes, chargées d'électricité posi-

tive (1), autour desquelles tournent, comme des satellites autour d'une planète, un très grand nombre de corpuscules énormément plus petits, dont les masses sont de 1 000 à 2 000 fois plus faibles que celle de l'atome d'hydrogène qui est la plus petite quantité de matière connue (2). Ces corpuscules qu'on nomme des *électrons* sont chargés d'électricité négative. Mais que signifient ces mots : être chargé de telle ou telle électricité ? Simplement que les corps électrisés sont pour d'autres des centres d'attraction ou de répulsion ; c'est-à-dire qu'ils sont susceptibles de déterminer du mouvement, ce qu'ils ne pourraient faire s'ils n'étaient pas eux-mêmes le siège d'un mouvement. De là à admettre que les électrons et les corpuscules positifs ne sont que des régions limitées de l'Éther, siège d'un actif mouvement tourbillonnaire et que l'électricité n'est qu'une manifestation de ce mouvement tourbillonnaire, il n'y a qu'un pas. La nature de l'électricité dépendrait simplement du sens de ce mouvement. L'attraction moléculaire, la pesanteur, l'attraction universelle en un mot, seraient aussi des conséquences de ce même mouvement.

Si les astres sont soumis à cette attraction, c'est que son action se propage comme la lumière par l'intermédiaire de l'Éther qui transmet aussi les rayons de Roëntgen, les rayons invisibles des régions infra-rouge et ultra-violette du spectre, les ondes hertziennes, agents de la télégraphie sans fil, les ébranlements dus à la destruction du radium et des corps analogues; en sorte que la substance qui emplit l'espace est sans cesse traversée par des ébranlements de toutes sortes, dont nous ne connaissons vraisemblablement qu'une partie, ébranlements qui s'entre-croisent en tous sens et qui pourraient, à la rigueur, donner naissance, en se frôlant, à des mouvements tourbillonnaires, analogues à ceux dont les atomes sont le siège, et créer ainsi de la matière.

(1) II, 218. — (2) I, 15. [Dans les notes, les chiffres romains gras renvoient à la Bibliographie; les chiffres arabes, aux pages des ouvrages cités.]

Mais ce que nous savons actuellement de plus sûr en ce qui concerne le mouvement, c'est qu'il ne naît pas de rien. Tout mouvement est le produit d'un mouvement antérieur et résulte de sa transformation.

Nous ignorons et nous ignorerons sans doute toujours quelle était la nature des mouvements initiaux d'où sont sortis les électrons avec leur charge d'électricité négative et les éléments chargés d'électricité positive autour desquels ils tournent, constituant ainsi les premiers éléments matériels. Naguère encore on pensait que le mouvement, comme la matière, était éternel; qu'il pouvait changer de modalité, se transmettre d'un corps à un autre suivant certaines lois, entraîner toute la masse d'un corps, ou agiter seulement ses molécules, produisant dans ce cas la chaleur, et la démonstration d'une équivalence entre le travail mécanique et la chaleur, prévue par Carnot, déterminée par Joule, Mayer, Hirn, Tyndall, avait donné à cette idée une base scientifique des plus solides, en apparence. Dès lors il serait inutile de se demander quelle a pu être l'origine de la force. L'éther tout pénétré de mouvement et faisant bloc avec lui donnerait naissance à toutes les forces qui retourneraient à lui et se fondraient avec lui après avoir animé la matière. On est moins sûr aujourd'hui de cette éternité du mouvement....

Revenons aux choses intelligibles. Nous entrevoyons qu'un grand nombre des éléments susceptibles de devenir de la matière ont pu se rassembler dans certaines régions de l'espace et y former une sorte de filet tendu (1) sur le passage des particules infiniment petites que la force répulsive des astres déjà existants projette incessamment dans l'espace, qu'elles parcourent avec une vitesse prodigieuse et qui, suivant Svante Arrhenius, seraient chargées d'électricité négative. Ces fines particules s'arrêteraient à la surface du réseau où leur tension irait croissant et finiraient par lancer au travers de toute l'étendue de celui-ci des décharges électriques qui l'illumineraient, comme de

(1) III, 16.

telles décharges illuminent un tube de Crookes. Ce serait l'origine première des nébuleuses, dont la température, malgré leur éclat phosphorescent, serait de plus de 200 degrés au-dessous de zéro. Le spectre de ces nébuleuses montre les raies de l'hélium, celles de l'hydrogène et quelques autres qui semblent spéciales. Qu'un bloc de matière, si petit soit-il, pénètre dans une pareille nébuleuse, un fragment d'astre brisé, par exemple, tel que ceux qui constituent les météorites, il deviendra aussitôt un centre d'attraction vers lequel vont se précipiter les particules de la nébuleuse, qui le heurteront, tourbillonneront autour de lui, développant à la fois une pression intense et une quantité formidable de chaleur. La froide et phosphorescente nébuleuse va se transformer ainsi en une masse gazeuse incandescente, une sorte d'immense flamme tout agitée de mouvements d'une violence inouïe et d'abord tout à fait désordonnés. Peu à peu cependant, du fait même de ce désordre, des heurts, des tourbillons qui en résulteront naîtra une sorte d'harmonie. Car ces mouvements intérieurs se classeront pour ainsi dire : les uns se réduiront à de simples vibrations se propageant en radiations diverses à travers l'éther, loin de la nébuleuse ; les autres se fusionneront en un mouvement unique de rotation rapide, entraînant la masse entière de la nébuleuse à tourner avec une vitesse prodigieuse autour d'un axe idéal unique. On pourrait admettre, à la rigueur, que la diversité primitive des mouvements divise la masse nébulaire en plusieurs masses inégales, tourbillonnant chacune pour son compte, animées en outre d'un mouvement de translation, transformé, pour les petites masses, en un mouvement de rotation autour des plus grosses, par qui elles seraient attirées. Ainsi aurait pris directement naissance un système d'astres tel que ceux qui constituent les étoiles multiples ; mais pour notre système solaire, Laplace a été conduit à une autre hypothèse, grandiose dans sa simplicité.

La nébuleuse incandescente n'aurait constitué qu'une masse sphéroïdale tournant tout entière autour d'un même axe avec

une vitesse vertigineuse. Conformément aux lois de la force centrifuge, cette masse aurait pris, en raison de sa vitesse, une forme ellipsoïdale telle que celle de la Terre; puis la région correspondant à la zone équatoriale se serait, à des époques successives de sa période de refroidissement, détachée en formant une série d'anneaux comparables à celui de la planète Saturne. A cause de leur refroidissement plus rapide, ces anneaux se seraient condensés, les diverses substances dont ils seraient constitués se séparant les unes des autres en raison de leur coefficient de chaleur spécifique, de leur point de fusion ou de solidification différents, et chaque anneau devenu hétérogène se serait alors brisé; les plus grosses masses attirant les plus petites, le tout aurait fini par constituer un globe tournant autour de la masse principale avec une vitesse égale à celle des molécules de l'anneau, après son isolement, et en suivant une orbite de même forme et de même dimension que l'anneau initial. Ainsi se serait constitué le système solaire, dont les étoiles semées dans le ciel seraient une répétition plus ou moins fidèle, exception faite pour les étoiles multiples, constituées par plusieurs soleils se mouvant en des orbites complexes les uns autour des autres.

Ces étoiles elles-mêmes ne sont pas distribuées sans ordre. A côté des nébuleuses, en quelque sorte vaporeuses, que l'on peut considérer comme de simples étoiles en formation, il y en a d'autres qui n'ont l'aspect de nébulosités que si on les examine avec des télescopes faiblement grossissants. Des instruments plus puissants les montrent formées d'une infinité de points brillants qui sont manifestement des étoiles. Dans ces nébuleuses, des milliers, peut-être des millions, d'astres comparables à notre système solaire sont rassemblés; ce sont probablement les plus lointains de tous. Or ces nébuleuses ont souvent la forme régulière d'anneaux. Nous vivons au sein de l'un de ces anneaux, la *Voie lactée*, et nos belles étoiles du firmament ne sont pas autre chose que celles qui sont parsemées

dans la région de la vaste nébuleuse la plus voisine du Soleil.

On peut se demander maintenant si, au delà de ce que nous voyons, il n'y a pas autre chose ; s'il n'existe pas d'autres univers séparés de nous par le vide absolu, un vide que rien ne saurait franchir, car, si quelque chose le franchissait, ce ne serait plus le vide ; si ces univers ne sont pas faits d'un éther différent du nôtre, ce qui suffirait pour que toutes nos lois physiques y soient remplacées par d'autres lois très différentes. Cela, nous ne le saurons jamais ; nous ne pourrons jamais en avoir aucun soupçon : il nous faut donc nous enfermer dans notre unique Univers, déjà si vaste ; c'est le seul que nous ayons quelque chance de connaître.

Si l'on avait, il y a seulement un demi-siècle, annoncé que nous saurions un jour de quoi sont faites les étoiles, de quoi est fait le Soleil, et si l'atmosphère des planètes est chargée ou non de vapeur d'eau, on aurait pris pour le produit de quelque imagination déréglée cette ambitieuse prophétie. Elle a été cependant réalisée, et c'est encore la lumière qui nous a renseignés. Tout le monde sait que si on fait tomber sur un prisme triangulaire de cristal, perpendiculairement à l'une de ses faces, un très mince rayon de lumière blanche, ce rayon change de direction en traversant le prisme et s'étale, quand il en sort, en un éventail dont les lames, passant d'ailleurs insensiblement l'une à l'autre, sont diversement colorées, les mêmes couleurs se succédant toujours dans le même ordre. En commençant par la lame qui s'écarte le plus de la direction première, l'ordre des couleurs est le suivant :

Violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

Nous les rangeons dans cet ordre, au lieu de prendre l'ordre inverse, parce que les noms des couleurs ainsi disposés forment un vers facile à retenir. Le violet est la couleur la plus *réfrangible*, le rouge celle qui l'est le moins.

Cet éventail, dont les couleurs apparaissent en formant une magnifique bande brillante quand on place un écran blanc sur

son trajet, s'appelle le *spectre solaire*. Si le rayon est suffisamment mince et l'épaisseur du prisme assez grande pour que l'ouverture de l'éventail soit considérable, on aperçoit dans le spectre des lignes noires et des bandes obscures ; ce sont les raies de Frauenhofer qui portent, avec justice, le nom du physicien allemand qui les a découvertes. D'autre part, le physicien français Foucault avait constaté que le spectre des métaux chauffés jusqu'à l'incandescence n'est pas continu ; il est composé de raies et de plages brillantes. Un peu plus tard, en Allemagne, Kirchoff et Bunsen constataient que si à travers une vapeur métallique obscure on fait passer un rayon de lumière blanche continue, comme celle qu'émet le charbon incandescent, le spectre de celui-ci présente des raies obscures, correspondant justement aux raies brillantes que présenterait le spectre du métal qui a fourni la vapeur ; on obtient, autrement dit, au point de vue de l'intensité lumineuse, le spectre renversé de ce métal. Or, en comparant les raies de Frauenhofer aux raies brillantes des spectres de divers métaux, elles se sont trouvées exactement superposables à ces dernières ; elles indiquent par conséquent la présence de ces métaux dans l'atmosphère solaire. L'étude de cette atmosphère chargée de vapeurs métalliques à été poussée très loin à la suite de l'astronome français Janssen, et a démontré que tous les corps qu'elle contient se retrouvent sur la Terre. Pendant quelque temps, néanmoins, on a pu penser qu'un corps faisait exception ; il paraissait propre au Soleil et on l'avait, pour cette raison, nommé *hélium*. Mais l'hélium a été retrouvé sur la Terre ; c'est un des produits de la désagrégation du radium, et il a pris, depuis la découverte de son origine, une importance considérable dans les spéculations des physiciens. L'étude du spectre des étoiles ne nous a pas révélé l'existence de corps spéciaux. Seules, les nébuleuses nous en ont donné deux, le *nébulium* et l'*archonium* et nous arrivons ainsi à cette conclusion que notre Univers entier est fait des mêmes substances, ce qui est, pour ainsi

dire, tout naturel si les atomes matériels ne sont que de l'Éther animé de certains mouvements tourbillonnaires.

Il est plus naturel encore que la substance des diverses planètes soit la même pour toutes, dans l'hypothèse qu'elles sont nées du Soleil, comme le pensait déjà Buffon et comme l'admettent depuis Laplace tous les astronomes. La naissance de ces astres ne s'est pas faite d'ailleurs au hasard; elle s'est produite à des époques déterminées qui semblent correspondre à des phases successives de la rétraction et du refroidissement du Soleil. A l'époque où elles se sont formées, les matériaux constituant le Soleil s'étaient déjà disposés dans l'ordre de leur densité croissante et, on peut aussi dire, de leur viscosité. Les planètes les plus éloignées, les premières formées vraisemblablement, sont en effet très grosses, très légères, et comme elles sont demeurées très longtemps en fusion, elles ont elles-mêmes donné naissance à un grand nombre de satellites, chacune à plusieurs lunes (1). Ces planètes sont Neptune, Uranus, Saturne et Jupiter; puis viennent brusquement des planètes beaucoup plus denses et plus petites n'ayant qu'un petit nombre de satellites : Mars, la Terre, Vénus et Mercure. Entre ces deux groupes de planètes circulent dans une même orbite une infinité, près d'un millier, de petits astres, les astéroïdes. On peut croire qu'entre Jupiter et Mars, il y avait autrefois une planète contenant une telle proportion de matières légères comme celles des grosses planètes, ou lourdes comme celles des planètes analogues à la Terre, que, lors du refroidissement, ces substances se contractant différemment, la planète s'est brisée comme se brise au feu un bloc de verre hétérogène, et que ses fragments se sont dispersés tout le long de son orbite. Cette hypothèse est confirmée par la position qu'occupe l'anneau des astéroïdes. La distance des diverses planètes au soleil est, en effet, régie par une loi qui a été formulée par l'astronome Bode, de Berlin, et qui peut être énoncée de la manière suivante, en prenant pour

(1) IV, 6.

point de départ non pas le Soleil, mais la dernière des planètes formées, Mercure :

Les distances des planètes à Mercure forment une progression géométrique dont le premier terme est 3 et la raison 2.

C'est-à-dire que ces distances sont entre elles comme les nombres suivants :

Vénus	La Terre	Mars		Jupiter
3	$3 \times 2 = 6$	$6 \times 2 = 12$	$12 \times 2 = 24$	$24 \times 2 = 48$

Saturne

$48 \times 2 = 96$

Cette loi, résultant de l'observation, a été retrouvée par le calcul en 1867. Elle est, comme l'a montré l'astronome Heinrichs, une conséquence de la condensation progressive, régulière et proportionnelle au temps, de la nébuleuse solaire, de sorte qu'elle relie entre elles aussi bien les distances des planètes au Soleil que les époques de leur formation. Or, dans la série, l'astre correspondant au terme 24 est justement représenté par l'anneau des astéroïdes. Cet anneau correspond bien par conséquent à une planète. Il se pourrait d'ailleurs que ces astéroïdes fussent la conséquence, non pas de la rupture d'une planète, mais d'un anneau qui aurait à un certain moment encerclé le Soleil, comme il en existe un autour de Saturne.

Si les diverses planètes ne sont formées que de substances se trouvant sur la Terre, il ne s'ensuit pas que chacune les contienne toutes, et surtout les contienne dans les mêmes proportions. Les différences de densité qu'elles présentent conduisent même à admettre qu'il ne saurait en être ainsi. En effet, si l'on prend pour unité la densité de l'eau, on trouve que celle de Neptune est 1,7, celle d'Uranus 1,5, celle de Jupiter 1,3. Ces densités sont fort peu supérieures à celle de l'eau, à peine égales à celle du sucre, inférieures de beaucoup à celle du verre. Saturne est même si léger que si l'on avait un bassin suffisant pour le contenir, il flotterait sur l'eau ; au contraire, la densité de Mars est de 3,9, celle de la Terre 5,5 ; celle de Vénus 4,4 ;

celle de Mercure 6,5. Ces quatre planètes peuvent contenir plus ou moins de métaux lourds, avoir une atmosphère plus ou moins étendue, mais leurs densités sont trop voisines pour qu'on ne doive pas admettre qu'on y rencontre les mêmes corps simples. La légèreté des planètes extérieures à l'anneau implique chez elles une prédominance des métalloïdes et des métaux alcalins ou terreux, dont les composés sont les plus légers de tous. Les composés des métaux alcalins sont presque tous solubles; il est donc à présumer que les mers de ces astres sont beaucoup plus salées que les nôtres, et ceci, nous le verrons plus tard, n'a pas été sans conséquences.

L'état d'incandescence où se trouve actuellement la surface du Soleil, les flammes immenses d'hydrogène qui jaillissent de sa surface impliquent que sa masse entière est à une température extrêmement élevée; il est même probable qu'elle est en fusion et que son éclat est dû à des scories solides qui flottent à la surface de la masse fondue. A l'époque où se formèrent les planètes, la température du Soleil ne pouvait pas être inférieure à ce qu'elle est aujourd'hui; il est donc certain que c'est à l'état liquide, sinon gazeux, que ces astres se sont dégagés du Soleil; leur forme sensiblement sphéroïdale, et même l'aplatissement polaire viennent confirmer cette hypothèse. C'est seulement plus tard, les gaz atmosphériques s'étant dégagés, que leur surface s'est consolidée; au moins est-ce ainsi que les choses se sont passées pour la Terre. L'eau à ce moment faisait partie de l'atmosphère, la surface du sol étant encore trop chaude pour qu'elle y pût subsister à l'état liquide; à mesure que le sol se refroidissait, elle s'est peu à peu précipitée, l'atmosphère qu'elle embrumait de ses vapeurs devenant peu à peu plus claire. Vénus, plus jeune que la Terre, plus voisine du Soleil, et, pour ces deux raisons, plus chaude, en est encore à une phase où les nuages cachent absolument le sol, réfléchissant vers nous la vive lumière qui nous fait admirer l'Étoile du Berger et lui permet de briller, même dans un ciel illuminé par les rayons du

Soleil, mais masquent le firmament à ses habitants qui, selon la juste observation d'Henri Poincaré, ignorent peut-être encore les Étoiles. Mars, au contraire, plus petit et qui a le double de notre âge, tandis que Vénus n'en a que la moitié, a acquis une atmosphère d'une extrême limpidité.

Énorme par rapport à nous, puisqu'il est 1279 fois plus gros, Jupiter s'est refroidi moins vite, mais il est plus éloigné du Soleil et il est huit fois plus âgé que nous; il est possible que les eaux se soient précipitées à sa surface, formant depuis longtemps des Océans comme les nôtres, d'où s'élèvent des nuages que des vents semblables à nos alizés et à nos contre-alizés paraissent diviser en bandes parallèles à l'équateur. Peut-être un anneau correspondant à celui de Saturne commence-t-il à s'ébaucher à sa surface. L'existence de l'anneau de cette dernière planète est liée sans doute à l'extrême légèreté des substances qui la constituent, et qui ont facilement cédé à l'action centrifuge née de sa rotation. La singularité de ces astres lointains et dont la naissance s'enfonce dans un passé dont nous ne pouvons nous faire aucune idée empêche que nous puissions tirer un bien grand profit de leur étude pour reconstituer l'histoire de notre globe.

Le refroidissement graduel de la Terre n'a pas eu seulement pour conséquence de laisser les eaux se séparer de l'atmosphère et se condenser sur sa surface. Il a, par la suite des temps, amené toute une série de modifications des rapports des eaux et de la croûte solide. Au début, celle-ci était, sans doute, exactement sphérique et les eaux la recouvraient d'une couche partout d'égale épaisseur. L'air, l'eau, la terre formaient trois sphères concentriques; la croûte terrestre solide recouvrait elle-même la masse centrale, demeurée brûlante et à l'état de fusion. Le refroidissement a troublé peu à peu la régularité de toute cette géométrie. Homogène, se rétractant rapidement comme tous les liquides, la masse centrale n'aurait pas tardé à se séparer de la croûte solide et à laisser un vide au-dessous d'elle, si

celle-ci ne s'était déformée de manière à restreindre sa capacité.

La rétraction d'un solide qui se refroidit est plus lente, en effet, que celle d'un liquide, et l'étui solide n'aurait pu suivre assez vite en se rétractant la masse liquide qu'il recouvrait; il se serait effondré s'il ne s'était déformé. Peut-être cet effondrement s'est-il plus d'une fois produit avant la déformation; peut-être s'est-il combiné avec elle. Nous n'en saurons probablement jamais rien, et peu importe d'ailleurs. Quoi qu'il en soit, un très simple calcul géométrique établissant qu'à surface égale le solide dont le volume est le plus grand est la sphère, celui dont le volume est le plus petit le tétraèdre, par le seul effet du refroidissement, l'écorce terrestre a dû tendre à passer de la forme sphérique à celle d'une pyramide triangulaire à quatre faces, dont les quatre sommets et la portion des arêtes qui les avoisinent ont dû faire saillie au-dessus des eaux. A partir de ce moment il y a eu des continents et des mers profondes. La mer, comme dit la Bible, a été séparée de l'aride. On pourrait croire au premier abord que la disposition actuelle des continents et des mers confirme ce calcul (1) : le pôle Nord est occupé par une mer couvrant la base de la pyramide; au pôle Sud un continent indique le sommet opposé à la base; le continent européo-africain représente un des pointements latéraux; les deux Amériques correspondent au second; le continent asiatico-australien, séparé de l'Europe par la dépression aralo-caspienne, lit d'une ancienne mer, figure le troisième. Ces trois mers continentales s'élargissent au sud et s'effilent vers le nord comme il convient. Bien plus : la terre tournant autour de son axe, chacun de ses méridiens tourne dans un temps donné d'un même angle; mais pour tourner d'un même angle les points voisins de l'équateur ont à parcourir un arc de cercle beaucoup plus long que ceux qui avoisinent les pôles; ils marchent donc beaucoup plus vite dans le sens tangentiel. Si maintenant une partie de ce méri-

(1) V, 55, 1245.

dien s'affaisse, les points affaissés marchant plus vite qu'ils ne devraient le faire seront en avance sur les points saillants, trop lents eux-mêmes, et les continents devront tordre leur pointe vers l'orient; cette torsion, évidente pour l'Amérique, devait amener la rupture des continents vers leur milieu, et ce serait la raison d'être de la Méditerranée, de la mer des Antilles, de la séparation du continent australien détaché de l'Asie. Tout cela, malheureusement, aurait dû se produire, non pas de nos jours, mais dès le début de la contraction de l'écorce terrestre; il est possible que la disposition initiale des continents et des mers ait commencé par être conforme à ce calcul irréprochable; mais depuis, d'autres causes sont survenues qui ont modifié le cours des choses. En fait, les plus anciennes géographies que l'on connaisse n'indiquent nullement une disposition tétraédrique ; la disposition actuelle, qui semble s'y conformer, est relativement récente ; cette conformité est en quelque sorte un anachronisme. Il a fallu abandonner, non sans regret et non sans avoir fait maints efforts pour la sauver, la théorie mathématique, si séduisante au premier abord, dite du tétraèdre. Les contours des continents, leur étendue, leur altitude ont changé bien des fois. Des territoires longtemps continus ont été découpés en plusieurs autres; des îles isolées se sont soudées entre elles et se sont rattachées aux continents voisins; les vastes pays ainsi constitués ont été de nouveau scindés par l'envahissement des eaux. Des végétaux et des animaux qui vivaient ensemble ont été, par suite, isolés les uns des autres ; des espèces cantonnées dans des régions séparées par les mers ont pu se répandre de l'une à l'autre dès qu'un pont a été jeté entre elles, passer d'une mer dans une autre quand un détroit est venu les rejoindre. L'évolution de la vie est intimement liée à ces lentes et pacifiques « révolutions du Globe », qui n'ont été, en fait, qu'une évolution, et qu'il est nécessaire d'étudier avant d'étudier l'évolution de la vie.

CHAPITRE II

LES TRANSFORMATIONS SUCCESSIVES DES CONTINENTS ET DES MERS

Nulle part on n'a atteint la première croûte de consolidation du Globe. Longtemps on l'a crue représentée par des roches remontant effectivement, en partie, à une très haute antiquité : les roches granitoïdes et les gneiss, qui constituent presque à elles seules de vastes régions, le plateau central de la France, par exemple. Mais on a dû reconnaître que, malgré les apparences contraires, ces roches sont simplement, elles aussi, des roches déposées par les eaux ; de plus, elles ne sont pas toutes du même âge. S'il en est qui comptent parmi les plus anciennes roches connues, d'autres identiques, cependant, dans leur constitution minéralogique et dans leur structure, sont plus récentes et se retrouvent à des niveaux divers, mais dans des conditions analogues. Lorsque les roches déposées en couches horizontales comme sédiments ont subi des pressions latérales qui les ont plissées, c'est au voisinage du fond des plis concaves que l'on trouve les roches granitoïdes, à quelque âge qu'appartienne le terrain sédimentaire. On peut en conclure qu'elles résultent d'une transformation des roches sédimentaires violemment comprimées, fondues en partie, plus ou moins altérées par des infiltrations gazeuses ou liquides et, grâce à cette double action, passées à l'état cristallin. On dit que ces roches ont été *métamorphisées* et le métamorphisme est un phénomène très général Il s'est ainsi formé des gneiss et des granits aussi souvent que des roches sédimentaires ont été comprimées et plissées, de

sorte que les roches que l'on appelait autrefois *primitives* ont perdu cette qualité (1).

Il n'en est pas moins vrai que les parties du Globe les plus anciennes qui soient émergées actuellement sont essentiellement formées de ces roches dont l'épaisseur sur certains points dépasse 15 000 mètres. On peut mesurer par là le temps qu'il a fallu pour constituer de tels dépôts, surtout si l'on considère que ces dépôts, d'abord peu compacts, sont arrivés à prendre l'homogénéité que nous connaissons au gneiss.

Les gneiss et les granits les plus anciens n'échappent pas à la règle commune nous montrant ces roches dans les régions profondes des plis qui se forment dans les couches stratifiées, à la suite de fortes compressions latérales, et ces plis eux-mêmes sont, en général, alternativement concaves et convexes, constituant ainsi ce que les géologues appellent des *synclinaux* et des *anticlinaux*.

Les anticlinaux sont naturellement surélevés et correspondent aux faîtes des chaînes montagneuses qui ont été le résultat de ces plissements. Ces chaînes ne se sont pas formées d'un seul coup. Obligée de suivre, en s'appliquant constamment contre elle la sphère de matières fondues, qui par suite du refroidissement graduel du Globe se rétractait plus vite qu'elle, l'écorce solide de la Terre s'est plissée de manière à conserver à peu près sa surface tout en se resserrant pour diminuer son volume ; mais, contrairement aux prévisions géométriques, à partir du moment où le sol est accessible à nos observations, les continents ne forment pas de saillies dirigées sensiblement suivant les méridiens, comme le voudrait la théorie du tétraèdre, mais bien plutôt des anneaux orientés parallèlement à l'équateur. Soit que la force centrifuge résultant de la rotation de la Terre ait eu une part dans leur formation, soit

(1) VI, 172.

que le refroidissement, toujours plus intense aux pôles, y ait déterminé la formation de boucliers puissants, résistant à une poussée dirigée tangentiellement aux méridiens vers les pôles. Le premier de ces anneaux s'est formé au voisinage du pôle Nord; nous ignorons s'il a eu un correspondant au pôle Sud, l'hémisphère austral étant actuellement, en grande partie, caché sous les eaux. C'est au cours de sa formation qu'ont été plissés les gneiss circumpolaires; la direction de leurs plis indique l'emplacement de la plus ancienne des chaînes de montagnes, dite *chaîne huronienne* parce que les traces qu'elle a laissées de son existence sont particulièrement visibles aux environs du lac Huron, en Amérique; mais elle s'étendait de là sur le Groënland, le nord de la Scandinavie et de la Sibérie. Plus tard une seconde chaîne, située plus au sud, l'a entourée, la *chaîne calédonienne*, ainsi nommée parce qu'elle est très reconnaissable dans les Grampians d'Écosse; elle s'étend en Scandinavie et se retrouve dans les montagnes Vertes du Massachusetts, l'État du Maine aux États-Unis et aux Apalaches. Plus tard encore et toujours plus au sud se sont dressées les *chaînes hercyniennes*, dont le nom rappelle le souvenir de la vaste forêt Hercynienne qui, du temps de César, couvrait les montagnes de la forêt Noire et du Harz, les Erzgebirge et les Riesengebirge, et s'étendait aussi, à travers les Vosges, de la Lorraine jusqu'au plateau central et à la Bretagne. Ces chaînes envoyaient des rameaux en Espagne jusque vers Séville et la Meseta espagnole; d'autre part, à travers la Bohême, elles gagnaient l'Oural sous les Karpathes et les Balkans, s'irradiaient en Asie de l'Altaï vers le golfe de Petchili, le Tonkin, l'Annam et le Cambodge et se retrouvaient en Australie, au Brésil et aux alentours du Canada. Enfin une quatrième série de plissements, postérieurs encore aux précédents et plus méridionaux, correspond à la formation des Balkans, des Alpes, du Jura, des Carpathes, des Pyrénées, des Apennins, de l'Atlas, du Caucase, de l'Himalaya, du massif tourmenté du sud et de l'est de la Chine, des montagnes qui bordent de chaque côté l'Indo-

Chine et s'allongent en une chaîne médiane dans la presqu'île de Malacca, se trahissant encore par les nombreuses îles volcaniques du Pacifique. Les plis gagnent ensuite la côte occidentale de l'Amérique et remontent, en longeant sans cesse l'Océan, vers l'Amérique du Nord et l'Alaska, tandis qu'ils s'étendent au sud jusqu'à la Terre de Feu.

Les *chaînes alp-himalayennes* sont les plus hautes montagnes du Globe (1); elles atteignent dans l'Himalaya jusqu'à 8840 mètres de hauteur; c'est sur leur sommet que s'accumulent les neiges éternelles, et tout le long de leurs hautes vallées que coulent lentement d'énormes fleuves de glace; c'est aussi dans leur voisinage que les volcans sont distribués, si serrés le long des côtes du Pacifique qu'ils entourent cet océan de ce qu'on a appelé son *cercle de feu;* c'est enfin à leur pied ou sur leurs flancs que se produisent le plus ordinairement les tremblements de terre. Tout cela est, chez elles, signe de jeunesse. Les montagnes plus anciennes ont été usées, corrodées, nivelées par les agents atmosphériques; il faut toute la sagacité des géologues pour les reconstituer par l'étude des terrains qui ont été plissés lors de leur formation et qui sont aujourd'hui comme les fondations ensevelies sous le sol de toute une cité en ruines; le géographe qui se bornerait à étudier la surface du sol pourrait à peine les soupçonner. Elles aussi ont porté jadis des glaciers dont on retrouve la trace jusque sur les gneiss les plus anciens, mais ce qui reste des faîtes hercyniens eux-mêmes a été réduit par l'usure du temps à de trop modestes hauteurs pour que la neige s'y arrête longtemps dans les régions tempérées. Les volcans sont le signe que des cassures toutes fraîches encore persistent dans les flancs des plis récemment formés, livrant passage aux matières en fusion des profondeurs. Des cassures semblables ont traversé les plis hercyniens et calédoniens; on trouve en maints endroits les coulées, restes des laves antiques,

(1) VII, 493.

auxquelles elles livraient passage; mais ces coulées se sont solidifiées pour toujours et ont fermé toutes les issues que traversaient jadis les torrents de feu. Les dépôts stratifiés, d'abord horizontaux, qui ont été soulevés pour former les flancs des chaînes antiques, ont glissé les uns sur les autres, ou se sont même renversés totalement ; des masses immenses ainsi disloquées ont cheminé parfois jusqu'à des distances considérables de leur lieu d'origine, charriant avec elle les matériaux des plis saillants qu'elles rencontraient. Ailleurs des couches se sont rompues verticalement, suivant une fente dont les deux parois ont changé de niveau l'une par rapport à l'autre, constituant ainsi une *faille*. Tout ce travail gigantesque ne s'est pas effectué sans secousses brusques, amenant des tremblements de terre ; mais aujourd'hui tout s'est consolidé, équilibré, immobilisé, et c'est aux alentours seulement des chaînes relativement nouvelles que l'on ressent des secousses séismiques.

Théoriquement, l'ordre de superposition des couches déposées horizontalement par les eaux indique leur âge relatif. Quand ces couches ont été redressées, plissées, renversées, comprimées, charriées, cette détermination est plus difficile, mais c'est l'art des stratigraphes de vaincre ces difficultés; ils y sont parvenus presque toujours, et, à côté de la stratigraphie, ils ont constitué une science nouvelle, la *tectonique*, qui a justement pour objet l'étude des modes variés d'agencement que présentent les couches déposées d'abord horizontalement dans les diverses contrées. Lorsque des couches ont été redressées ou plissées, puis exondées et de nouveau submergées, les eaux revenues sur leur ancien domaine le couvrent de strates horizontales qui sont autrement orientées que les strates redressées; cette *discordance* indique nettement que des mouvements du sol se sont produits avant le dépôt des nouvelles strates, et si ces strates sont à leur tour plissées, la discordance subsiste, signifiant qu'à deux reprises différentes le sol a été soulevé. C'est en partant de ces principes fort simples en théorie, mais d'une

application souvent difficile, posés jadis par Élie de Beaumont que les géologues sont arrivés à déterminer l'âge relatif des montagnes, et à conclure à la réalisation successive des quatre séries de plis dont nous avons indiqué tout à l'heure d'une façon succincte la distribution.

Ce travail d'*orogénèse* ou de formation des montagnes caractérise de grandes ères géologiques dont la formation d'une même série de plis a, en général, occupé toute la durée. On donne le nom d'*ère précambrienne* à l'ère de formation de la chaîne huronienne ; celui d'*ère primaire* à l'ère qui s'étend depuis la période de préparation et le début de la formation des plis calédoniens jusqu'à l'achèvement des plis hercyniens; alors s'est établie une longue période de calme relatif constituant l'*ère secondaire*. Les mouvements orogéniques ont plus tard repris et la formation des plis alpins ou alp-himalayens a occupé toute une ère nouvelle, l'*ère tertiaire*. On pourrait admettre à la rigueur que cette ère n'est pas encore terminée, puisque les mouvements orogéniques qui l'ont marquée se poursuivent encore ; on peut constater, en effet, sur plusieurs de nos côtes des mouvements d'exhaussement du sol, comme sur la côte de Saintonge (1), ou d'affaissement, comme dans la baie de Douarnenez ; la terre tremble souvent en des points du Globe nettement en rapport avec la position de l'entre-croisement des chaînes de montagnes ; les bouches volcaniques sont nombreuses, actives et liées d'une manière évidente à des régions encore en travail de dénivellation ; mais l'époque actuelle, ou quaternaire, a été marquée par un événement auquel nous attachons naturellement la plus grande importance : la prise de possession de la Terre par l'Homme, et le début de cette prise de possession coïncide avec une circonstance climatérique que l'on considère comme

(1) Les mouvements de ces régions sont plutôt, il est vrai, des mouvements de balancement rentrant dans la catégorie des *mouvements épirogéniques* grâce auxquels la mer couvre des *zones d'ennoyage* qu'elle abandonne et qu'elle reprend alternativement.

ayant clos l'ère tertiaire : un refroidissement du climat qui, à plusieurs reprises, a permis une extension prodigieuse des glaciers. Cette *période glaciaire* était sans doute la conséquence des phénomènes orogéniques de l'ère tertiaire qui, en dressant sur la terre aplanie durant la période secondaire de hautes cimes, en modifiant la répartition des continents et des mers, avait favorisé, tout le long des chaînes puissantes récemment formées, l'accumulation, sur les altitudes, de formidables quantités de neige auxquelles chaque hiver apportait un nouvel appoint. Elle ne correspondait à rien de nouveau au point de vue géologique, si ce n'est peut-être au commencement de la période d'érosion des chaînes alpines; mais il est dans notre naturel d'attacher une importance particulière aux phénomènes qui sont liés intimement à notre histoire, et tous les géologues admettent comme une période distincte de l'histoire de la Terre celle où l'espèce humaine a commencé à tenir une place importante parmi les êtres vivants.

Chacune des ères que nous venons de définir a été divisée en plusieurs périodes qui correspondent tout à la fois à la formation de certaines parties des grands plissements que nous avons décrits sommairement, à une certaine phase de l'évolution de la vie ou à certains caractères des dépôts qui se sont formés pendant leur durée. Nous ne ferons que les énumérer ici dans leur ordre de formation en commençant par les plus anciennes; leurs noms seront autant de points de repère auxquels pourront se rapporter les divers développements que nous aurons à donner relativement à l'évolution de la vie sur le Globe.

Les plus anciens dépôts que nous connaissions sont complètement transformés en roches cristallines ou en micaschistes dans lesquels on ne trouve que des traces de fossiles; ils appartiennent à une ère précambrienne où l'on reconnaît deux périodes : la *période archéenne* et la *période algonkienne*. Vient ensuite l'ère primaire qui comprend cinq périodes : 1° la

période cambrienne, dont les dépôts contiennent les premiers restes d'êtres vivants nettement caractérisés ; 2° la *période silurienne;* 3° la *période dévonienne;* 4° la *période carbonifère*, durant laquelle une végétation puissante a donné lieu aux plus importants dépôts de houille de notre pays ; 5° la *période permienne*, après laquelle commence l'ère secondaire.

L'ère secondaire se divise, à son tour, en trois grandes périodes: 1° la *période triasique*, période de transition ; 2° la *période jurassique*, au cours de laquelle d'énormes récifs de coraux se formaient sur nos côtes, comme aujourd'hui sur les côtes des régions tropicales ; 3° la *période crétacée*, période d'approfondissement des mers de nos régions et de formation sur leur fond d'une fine vase calcaire qui est devenue la craie.

Enfin l'ère tertiaire, celle où apparaissent et se multiplient des animaux de plus en plus semblables aux nôtres, a été divisée, suivant la proportion d'animaux actuellement vivants que présente leur faune, en deux grandes périodes : la *période éogène* ou *nummulitique*, durant laquelle la mer abondait en organismes très simples, mais construisant une coquille en forme de disque, les Nummulites, et la *période néogène*, riche en animaux actuels. Ces périodes ont été divisées elles-mêmes en deux sous-périodes : la période éogène, en *éocène* et *oligocène*; la période néogène, en *miocène* et *pliocène*. On y ajoute quelquefois la *période pléistocène* correspondant à l'ère quaternaire.

Les chaînes de montagnes dont nous venons d'esquisser le tracé ne se sont pas élevées aux hauteurs considérables qu'elles ont atteintes sans que le niveau des régions avoisinantes ait été modifié sur de vastes étendues; elles sont, en réalité, assises sur de vastes bases qui constituent les continents ; elles en sont d'ordinaire la bordure et marquent la ligne de séparation entre les continents d'une époque et ceux de l'époque précédente, de sorte que là où les continents d'arrêt font actuellement défaut, comme le long des côtes américaines du Pacifique,

on est amené à penser qu'il existait un continent disparu.

Nous allons maintenant essayer de reconstituer, en tenant compte de ces principes, la distribution des continents et des mers aux diverses époques géologiques. Les premiers continents qui aient apparu au-dessus des mers, étaient, nous l'avons indiqué déjà, disposés dans l'hémisphère Nord, en deux couronnes principales dont la plus grande partie est depuis cette époque demeurée exondée : la première constituant le *continent paléarctique* était peu éloignée du pôle, la seconde était voisine de l'équateur.

La couronne circumpolaire (1) se décomposait elle-même en quatre massifs ou boucliers disposés autour du pôle comme les pétales d'une fleur : 1° le bouclier canadien, dans l'Amérique du Nord; 2° le Groënland; 3° le bouclier finno-scandinave comprenant la Scandinavie et la Finlande; 4° le massif sibérien; ils formaient sans doute, au début, une couronne continue que des effondrements dans la direction des méridiens ont successivement segmentée; ils n'ont même acquis qu'à une époque voisine de la nôtre leur disposition actuelle. Ces quatre massifs avaient déjà subi des plissements avant que d'autres terrains se soient déposés sur eux. Ils ont pu être momentanément recouverts par les eaux; mais ils sont demeurés inébranlables depuis les plissements qu'ils ont subis avant que s'ouvrent les périodes géologiques suivantes, de sorte que tous les dépôts qui se sont postérieurement formés sur leur surface arasée sont demeurés horizontaux. Les plis qu'ils présentent indiquent qu'ils ont subi de bonne heure des dénivellations qui ont abouti à la constitution de chaînes de montagnes dont les reliefs ont assez vite disparu. Ce sont ces montagnes, les plus anciennes qui aient dominé la surface du globe, qui constituaient la chaîne huronienne.

Un second continent s'étendait environ du 100e degré de longitude ouest au 165e degré de longitude est, reproduisant

(1) IX, 486, carte 1.

grossièrement la forme d'un grand oiseau massif aux ailes reployées, embroché par l'équateur, la tête vers l'Orient et qui aurait porté sous son bec un énorme barbillon. Le dos de l'oiseau correspondait à peu près au 30e degré de latitude nord, son ventre au 40e degré de latitude sud; son vertex, au 90e degré de latitude nord. Le bout de son bec était placé par 125° de longitude est et 35° latitude nord. Un bras de mer semblable à un vaste fleuve séparait ce continent du continent paléarctique et unissait les deux bords d'un immense océan occupant, en le dépassant presque partout, l'emplacement de l'océan Pacifique actuel, qui paraît avoir persisté, au moins sous la forme d'une ceinture entourant un continent hypothétique dit *continent Pacifique*, durant toutes les périodes géologiques. L'équateur coupait le corps de l'oiseau en deux parties à peu près équivalentes, et l'oiseau couvrait l'isthme de Panama tout entier, le débordait à l'occident pour s'étendre sur le Vénézuela, la Colombie, la république de l'Équateur, le Pérou, le Brésil, joignait cet ensemble américain à l'Afrique, qu'il englobait entièrement ainsi que l'Arabie, et se prolongeait vers l'est jusque bien au delà de Madagascar et à l'embouchure de l'Indus. L'Espagne, le nord de l'Italie, la France, les îles Britanniques, presque toute l'Allemagne, la Finlande, la Scandinavie étaient sous les eaux du bras de mer transversal, derrière le cou de l'oiseau qui courait le long de la côte nord de l'Afrique, des frontières de la Turquie et de l'Autriche, tandis que la tête couvrait toute la Russie, presque toute la Chine, le front et le bec de l'oiseau allant obliquement du golfe de l'Obi au nord de la Corée. Le barbillon, compris naturellement entre deux golfes, couvrait l'Inde, l'Indo-Chine, et unissait ensemble toutes les îles de l'archipel indien, reliées d'une part à la côte d'Asie, de l'autre au nord de l'Australie. Il n'y avait ni Atlantique (sauf le canal transversal de séparation des deux grands anneaux continentaux), ni Méditerranée, ni mer Noire, ni mer Rouge, ni golfe Persique. Le Chili, l'Argentine, la Patagonie,

tout l'est de la Sibérie, y compris le Japon, étaient submergés.

La géographie que nous venons d'esquisser correspond à ce que les géologues appellent la *période cambrienne* ; elle succède à celle où se déposaient les roches qui sont devenues les granits et les gneiss du Nord et qui est naturellement la *période précambrienne*. Dans cette période les granits et les gneiss forment un premier système de roches, le *système archéen*, que recouvrent des micaschistes et des grès nettement sédimentaires constituant le *système algonkien*. C'est dans ces dépôts algonkiens qu'ont été trouvées les premières traces d'organismes ayant vécu. Elles sont rares et il est difficile de déterminer de quoi elles sont les traces ou les restes ; mais apparaît dans le Cambrien une faune fort complète, celle que l'illustre géologue Joachim de Barrande croyait la plus ancienne de toutes, et à laquelle il avait donné le nom de *faune primordiale*.

La mer occupait alors une surface à peu près égale à celle qu'elle occupe aujourd'hui ; la diminution du diamètre de la terre depuis cette époque a peut-être augmenté dans une certaine mesure sa profondeur, mais elle devait être peu différente de ce qu'elle est de nos jours. Le canal transversal intercontinental était une sorte de Manche peu profonde, et ses côtes s'élevaient en pente très douce, car on reconnaît encore, à la surface des grès, les traces laissées sur le sable par les mouvements des vagues et qu'on nomme des *ripple-marks*. La côte occidentale de l'Amérique était, pour ainsi dire, jalonnée par trois îles allongées parallèlement à cette côte future et occupant à peu près l'emplacement des montagnes Rocheuses du Canada, de la Sierra Nevada et des Andes chiliennes. De même une presqu'île méridionale du continent paléarctique dessinait les futurs Apalaches, juste à la naissance de l'isthme qui rattachait l'aire persistante d'émersion, que Suess a appelée le *bouclier canadien*, à la masse du continent dont elle formait l'extrémité occidentale et méridionale. La mer a abandonné la région des grands lacs situés entre le Canada et les États-Unis.

Dès maintenant l'érosion va s'emparer de ces terres neuves ; les roches cristallines vont être désagrégées par la mer, et il se déposera au pied des falaises des sables que l'avenir transformera en grès colorés en rouge par des sels de fer et des carbonates de fer oolithiques (1), tels que ceux de Saint-Rémy (Calvados), Segré (Maine-et-Loire), Nucic (Bohême), du sud de l'Espagne, de Saint-Léon (Sardaigne), de Krivorrog (Russie méridionale), et ceux un peu plus tardifs (2) de Clinton qu'on retrouve à New-York, au lac Michigan, et qui sont accompagnés de dépôts formés dans les lagunes salées : gypse, sel gemme, qui réapparaissent pendant toutes les périodes géologiques dans les régions d'où la mer se retire (3).

Cependant, dans les deux hémisphères, les océans gagnent vers l'équateur; le canal intercontinental ou mer intérieure s'étend sur le nord de l'Afrique jusque-là émergé, arrive jusqu'au Sahara (4), mais dégage la Scandinavie, la Finlande, qui demeurent unies au Canada, et presque toute la Russie ; tandis que la mer australe envahit le sud de l'Afrique et une grande partie du Brésil. Ces changements ne sont que temporaires; bientôt (5) la mer reconquiert la Russie, le nord de la Scandinavie et de l'Allemagne, presque toute l'Europe, la Sibérie, la Chine, la plus grande partie des deux Amériques, sauf l'est du Canada qui demeure uni à la Scandinavie. Il ne reste d'émergé que la Scandinavie, l'Afrique centrale, l'Inde, l'ouest de l'Australie et l'est de la Chine.

On admet généralement, en outre, que dès cette époque un vaste continent occupait le Pacifique. Après avoir corrodé les côtes du continent paléarctique, leur avoir enlevé les parties qui sont devenues les Vieux grès rouges dévoniens, la mer se dessèche au sud de ce continent (6) : là s'établit une zone de lagunes qui donneront naissance à des dépôts salins ou gypseux et dans lesquelles s'élaborera, sans doute

(1) Ordovicien. — (2) Gothlandien. — (3) IX, 490. — (4) Coblentzien. — (5) Eifelien. — (6) Frasnien.

aux dépens des cadavres d'animaux en décomposition, le bitume des régions de la mer Blanche qu'on retrouve plus abondant dans les Apalaches, ainsi qu'entre la baie d'Hudson et la Colombie britannique.

Les plissements hercyniens correspondent à la période durant laquelle vont successivement se former, dans les estuaires ou dans les lacs de ces divers points du Globe, les dépôts de charbon qui sont aujourd'hui la principale ressource de notre industrie; ils se continueront pendant la première partie de la période secondaire. L'exhaussement du sol qui accompagne la formation graduelle des chaînes hercyniennes, chasse la mer de la région écossaise d'abord (1), puis du sud de l'Angleterre, de la Belgique et du nord de la France (2), enfin du Plateau central (3). Au début de cette période, il existait trois grandes masses continentales, séparées par autant de mers : la mer transversale des périodes précédentes, qui persiste plus ou moins modifiée, et deux mers dont l'une était dirigée suivant les méridiens. Le continent arctique relie toujours la Scandinavie, le Groënland et le Canada et forme le plateau canadien-scandinavien; un second continent correspondait à la Sibérie et à une partie de la Chine actuelle, c'est le plateau sibérien; le troisième s'étendait sans interruption de la partie de l'Afrique située au sud du Sahara, à l'Amérique méridionale d'une part, à l'Inde et au nord de l'Australie d'autre part; c'est le continent équatorial ou *continent de Gondwana*. La mer transversale couvrait toute l'Europe, Scandinavie à part, et le nord de l'Afrique; dans ce vaste canal, nommé *Méditerranée centrale* par Neumayer, *Mésogée* par M. Douvillé, *Tèthys* par Suess, émergeait une île transversale comprenant l'Italie, la région des Balkans et le sud de la Russie. Tout d'abord dans cette mer la profondeur diminue et l'on voit émerger (4) le pays de Galles et la Hollande, la Normandie et la région ardennaise, le Morvan,

(1) Dépôts dinantiens. — (2) Dépôts westphaliens. — (3) Dépôts stéphaniens. — (4) Dinantien.

le sud du Plateau Central avec les Vosges, la Franconie unie à la Bohême, l'Italie, la région des Balkans, la région caucasique du sud de la Russie et l'Oural, formant autant d'îles séparées par des canaux peu profonds. Le détroit compris entre l'île gallo-hollandaise et l'île ardenno-normande est occupé par des eaux d'une pureté extrême et d'une température élevée ; des récifs de coraux (1) bordent les côtes où ils s'étaient déjà établis, quoique plus à l'ouest, durant la période dévonienne; ils ont donné naissance au calcaire de Dinant ou « calcaire de montagne ». Au sud de l'île gallo-hollandaise se trouve un autre détroit qui la sépare du Morvan et du Plateau Central. Le bord sud de ce détroit est le siège de manifestations volcaniques puissantes; il est sans doute dominé par de hautes montagnes dont les produits d'érosion mêlés à des masses charbonneuses se retrouvent partout à leur pied. Peu après les îles émergées se couvrent d'une magnifique végétation dont les débris s'accumulant dans les détroits, chassent les coraux. C'est le moment où se forment successivement les bassins houillers de l'Écosse, les houilles puissantes de Lothian et de Dialkeith, ainsi que les bassins houillers du nord de la France et de la Belgique ; tandis qu'en Silésie, où quatre bras de mer se rencontrent, s'est constituée une puissante chaîne de montagnes aussitôt attaquée par une érosion intense qui a rempli de 14 000 mètres de débris le géosynclinal en voie d'abaissement, situé au pied de la chaîne. Un bassin se forme également du côté de Moscou.

Cependant les montagnes continuent à s'élever. La chaîne hercynienne court sur l'Espagne, le Plateau Central, la Bretagne, les Vosges, la Forêt-Noire, la Saxe. La région des Alpes (2) porte sur certains points des glaciers. Deux longues îles parallèles correspondent aux montagnes Rocheuses californiennes et à la côte occidentale du Mexique; un vaste continent s'étend au

(1) Dinantien. — (2) Westphalien.

nord, reliant ensemble tout l'ouest de l'Amérique du Nord, les îles qui la bordent dans la région arctique, le Groënland, la Scandinavie, les îles Britanniques, l'ouest de la France, l'Espagne, le Maroc et l'Algérie; tout cela constitue le plateau canadien-scandinave qu'un bras de mer, la mer à Fusulines (1), sépare du plateau sibérien. L'Italie est le noyau d'une grande île.

La mer intérieure se trouve donc fortement rejetée vers le sud, où elle est bordée par le plateau brésilio-africain unissant l'Amérique centrale et ses républiques équatoriales, toute l'Afrique centrale, l'Arabie, l'Inde, toute la partie occidentale de l'Indo-Chine y compris la presqu'île de Malacca. Au nord-est de ce continent se rattache une presqu'île en forme de T dont la branche occidentale va se relier à l'Espagne en passant au nord de l'Italie et en fermant la mer intérieure vers l'ouest; l'autre branche du T correspond à la région du Caucase englobant la mer Noire, toute la région moyenne de la mer Caspienne, et se terminant au sud et un peu au delà, vers l'est du lac d'Aral. L'autre presqu'île, située au sud-est, unit l'Indo-Chine à l'Australie presque complètement émergée et à l'est de laquelle une grande île englobe le nord de Bornéo et tout l'archipel malais. Enfin au sud du plateau brésilio-africain s'étend un autre continent, séparé de lui par une seconde mer intérieure et unissant la Patagonie à la région africaine du Cap et à Madagascar qu'il dépasse de beaucoup. La presqu'île en forme de T est séparée de la région scandinavienne du plateau canadien-scandinave par un bras de mer à bords parallèles, de direction est-ouest, se terminant par trois branches divergentes comme les doigts d'une patte d'oiseau, et de faible profondeur; c'est dans ces golfes et le long des côtes du bras de mer lui-même que se sont amoncelés les débris végétaux qui ont formé la houille d'Écosse, des grands bassins

(1) Les Fusulines sont des Protozoaires en forme de minuscules fuseaux, caractéristiques des mers carbonifères et appartenant à la classe des Foraminifères.

houillers du sud de l'Angleterre, de la Belgique, du nord de de la France, de la Bohême, de la haute Silésie et de la Moravie où elles atteignent 154 mètres d'épaisseur, et enfin du bassin de Donetz, en Russie, où ce bras de mer rejoint la mer libre.

La période secondaire s'ouvre avec le Trias. C'est une période de calme relatif durant laquelle la mer peut bien éprouver de lentes oscillations, les continents s'agrandir ou se rétrécir, mais il n'y a plus de plissements exhaussant à des hauteurs de plusieurs milliers de mètres de longues chaînes de montagnes; c'est, au contraire, la période de destruction des chaînes hercyniennes. La configuration générale des continents et des mers s'éloigne peu de ce que nous venons de décrire. Durant la période triasique tous les continents du Nord se sont rejoints; seuls demeurent submergés le nord-ouest de la Sibérie, l'Amérique russe et la côte occidentale des États-Unis et du Mexique. Il existe là, sur l'emplacement de l'océan Pacifique nord actuel, un vaste océan limité au sud par le continent pacifique. Le continent de Gondwana s'est fortement étendu; au nord de ce continent, le séparant du continent Nord-Atlantique, se trouve un vaste chenal, la mer intérieure ou Tèthys de l'âge précédent. Deux bras de mer coulant entre le continent Pacifique et la côte ouest de l'Amérique, d'une part, et, d'autre part, la côte est de l'Asie unissent la Tèthys à un océan arctique, et se continuent vers le Sud entre le continent Pacifique et le continent équatorial de Gondwana. Ces longs chenaux s'élargissent ou se rétrécissent successivement par places, ce qui donne au Trias français de la future vallée du Rhône sa division en trois séries de sédiments littoraux qui ont valu ce nom de Trias à l'ensemble des dépôts formés à cette époque.

Ces dispositions générales se maintiennent durant la période jurassique; pendant toute cette période persiste le continent Nord-Atlantique dont les bords seuls sont de temps en temps entamés par la mer durant la période oolithique inférieure. C'est seule-

ment à l'époque de l'Oxfordien qu'un affaissement dans la région de l'Oural le sépare de nouveau du continent sino-sibérien auquel il s'était uni durant le Permien. Ce dernier demeure émergé durant toute cette période, sauf sur ses bords entamés à l'extrême nord de la Sibérie et à Bornéo durant le Lias, sur la côte d'Okotsk au Bajocien, sur tout le nord de la Sibérie au Portlandien. De même le continent de Gondwana est découpé par un affaissement dans la région de Mozambique en deux autres : le continent africano-brésilien et le continent australo-indo-malgache. Entre ces deux continents et les deux continents septentrionaux, la mer tranversale, la Tèthys s'est élargie; elle occupe exactement la place des futurs plissements alpins. Il est probable que le continent Pacifique hypothétique existait encore, et traversant de l'ouest à l'est l'emplacement de l'Atlantique actuel, la Tèthys se prolongeait jusqu'aux mers quil e bordaient du côté oriental.

Nous arrivons ainsi à la période crétacée (1). Au début la région septentrionale du continent Nord-Atlantique (Terre du roi Charles, Spitzberg, est du Groënland) est envahie par les eaux; un bras de mer sépare le continent sino-sibérien du bouclier scandinave; sur le continent africano-brésilien la mer gagne le sud de l'Abyssinie, la côte des Somalis et le sud de la colonie du Cap; elle laisse presque indemne le continent Australo-indo-malgache, sauf dans le district de Katch et l'Australie occidentale. Le bras de mer qui à l'époque du Trias et du Jurassique unissait la mer des Antilles à la Tèthys existe toujours. On peut désigner cette époque sous le nom d'époque éocrétacée et les suivantes sous les noms d'époques mésocrétacée et néocrétacée.

A l'époque mésocrétacée la mer abandonne les régions arctiques énumérées tout à l'heure; le bras de mer qui séparait le bouclier scandinave du continent sino-sibérien, le nord de

(1) VI, 1358, 1359.

la Sibérie, une partie du pourtour du continent Pacifique s'assèchent; mais les eaux envahissent le bord occidental du bouclier canadien, divers points de l'Écosse, l'Irlande, la Bretagne, la Bohême, les Meseta espagnole et marocaine, faisant ainsi communiquer la Tèthys avec le golfe de Guinée, elles couvrent la Syrie, l'Arabie, le Sahara, le Soudan, le pourtour de l'Afrique de l'équateur au Cap, le nord-est du Brésil, le nord et le sud-est de la péninsule indienne, le plateau d'Assam et le Queensland en Australie ainsi que les côtes ouest de Madagascar. La Tèthys continue à s'étendre au sud des continents Nord-Atlantique et Sino-sibérien, établissant une communauté de faune marine entre les régions asiatiques et les régions méditerranéennes actuelles; un bras de mer passant entre les continents Nord-Atlantique et Sino-sibérien la relie à l'océan Arctique, au moins dans la seconde moitié de la période; elle communique de même avec la région des Antilles; de telle sorte qu'elle circonscrit une Atlantide (1). Le continent africano-brésilien paraît dès cette époque coupé en deux par l'immersion d'une vaste surface qui correspond à l'Atlantique sud. Madagascar et l'Inde sont encore réunis. Ces dispositions persistent durant la période néocrétacée où la mer gagne simplement un peu plus sur certaines régions, comme dans la région de la mer de Baffin où un golfe apparaît, la côte nord-est du Brésil, la région de Pondichéry, et peut être a-t-elle momentanément isolé Madagascar.

Désormais, avec la période tertiaire et le soulèvement des chaînes alp-himalayennes, nous nous acheminons rapidement vers l'état actuel des choses, si différent de celui que nous venons de décrire. Pendant une partie au moins de la période éogène ou nummulitique, l'Europe et l'Amérique du Nord sont encore unies en un vaste continent, le reste de l'Europe demeurant à l'état d'archipel dont les îles principales étaient, comme

(1) X, 134, carte 2.

aux temps secondaires, l'Écosse, l'Irlande et le pays de Galles, la Bretagne, le Plateau Central, la Meseta espagnole. Ces îles, séparées par des bras de mer peu profonds, se réunissaient par intervalles et s'unissaient même par une véritable Atlantide à l'Amérique du Nord. En tout cas, un golfe de l'océan Arctique pénétrait jusqu'au cœur de l'Europe, couvrait la mer du Nord, le bassin de Paris et le sud de l'Angleterre; le continent africano-brésilien persistait d'autre part. Madagascar était encore uni à l'Inde; mais dès ce moment l'Australie en est séparée et le continent indo-malgache était lui-même séparé par un détroit du continent africano-brésilien. Il est probable que le continent Pacifique a déjà commencé à s'effondrer, mais l'anneau marin sinueux qui l'entourait s'est soulevé momentanément pour se transformer plus tard en une terre de lagunes ou une mer peu profonde communiquant avec la Tèthys par un canal séparant l'Amérique du Nord de l'Amérique du Sud.

Au début de la période tertiaire la mer méridionale couvrait encore l'emplacement des Pyrénées et des Alpes ainsi qu'une partie de l'Espagne, tout le nord de l'Afrique, l'Italie, la Turquie et la Grèce, l'Asie Mineure, la Perse, l'emplacement de l'Himalaya et s'étendait jusqu'en Chine : c'est la mer nummulitique ainsi nommée à cause de l'immense quantité de nummulites fossiles, en forme de lentille circulaire, faiblement biconvexe, ressemblant un peu aux anciens *liards*, qu'elle contient. Un golfe qui ne tardera pas à se combler s'étendait sur le bassin de Paris. Mais à cette époque commence le soulèvement des Pyrénées entre la France et l'Espagne; la mer s'étale davantage dans le bassin de Paris; elle arrive à submerger la Beauce et pousse des pointes jusque dans le Plateau Central, elle couvre également le bassin de la Gironde. A ce moment l'Angleterre s'allongeait vers l'est jusqu'à Boulogne; le bassin de Paris était inondé; la Manche, déjà indiquée, quoique plus étroite, communiquait avec la mer du Nord. Mais bientôt le niveau de la mer s'abaisse, de vastes lacs d'eau douce la remplacent sur les parties

centrales de la France, de l'Espagne, de la Suisse; c'est l'époque *oligocène* que suit l'époque *miocène*. Maintenant les lacs d'eau douce qui occupaient la partie centrale de nos pays sont comblés; les Alpes, l'Himalaya atteignent leurs plus hautes altitudes. La mer abandonne définitivement le bassin de la Seine, mais envahit, par contre, ceux de la Loire, de la Gironde et du Rhône. La Bretagne, devenue insulaire, est isolée du reste de la France; en revanche, l'Angleterre se joint au continent, dont elle était isolée pendant la période précédente. Durant le reste de la période tertiaire l'Angleterre se relie d'abord à l'Artois dont les côtes du sud-est sont baignées par le lac qui occupe le bassin de Paris. A la période miocène celui-ci est exondé, la Manche est refoulée à l'ouest du Cotentin et l'Angleterre largement reliée à ce qui sera la Normandie et l'Artois (1). Ce vaste territoire d'union n'est plus qu'un isthme à la période pliocène, et enfin l'isthme se rompt à la période quaternaire, ouvrant le *Pas de Calais* à la mer qui déjà sépare l'Europe de l'Amérique, l'Afrique du Brésil, pour ébaucher l'Atlantique.

Un peu avant, au *pliocène*, la configuration générale des terres et des mers était déjà établie. A peine quelques régions, comme la Bretagne, étaient-elles un peu moins rétrécies par la mer qui s'avançait, au contraire, davantage sur toute la côte ouest de l'Atlantique, de la Bretagne à l'Espagne, et sur le littoral du golfe de Lion, d'où elle avait envahi toute la vallée du Rhône jusqu'à la Bresse, occupée par un grand lac. Les détroits de Gibraltar, des Dardanelles, du Bosphore se sont constitués à ce moment.

La Terre est désormais ce que nous la connaissons. Sans doute elle continue à se modifier. On sait qu'à l'heure actuelle certaines côtes s'abaissent sous les eaux, tandis que d'autres s'élèvent. La Scandinavie a passé pour subir une sorte de mouvement de bascule aujourd'hui douteux (2). La côte sud de la

(1) X, 168, carte 3. — (2) V *bis*, 656.

Bretagne, la côte occidentale de la France s'enfoncent sous l'Atlantique ; les îles Anglo-Normandes, les îles Chausey ont été séparées du continent depuis les temps historiques ; la ville d'Ys a été engloutie par les eaux dans la baie de Douarnenez ; certains points de la côte italienne s'élèvent, et les nombreuses régions où l'on observe encore des tremblements de terre et des éruptions volcaniques indiquent clairement que l'activité du sol n'a pas dit son dernier mot. Mais tous ces changements sont si lents et de si faible étendue que les cartes des géographes en sont à peine modifiées. Les choses n'ont pas marché plus vite autrefois, et la grandeur des changements accomplis s'explique, non par ces effroyables cataclysmes dont Cuvier donne une si grandiose description au début de son discours sur les Révolutions du Globe, mais par l'extrême longueur des périodes géologiques durant lesquelles elle se sont accomplies. Cette immense durée que les mages invoquaient déjà à l'appui de leurs conceptions cosmogoniques, cette longueur de temps dont Cuvier reprochait à Lamarck d'abuser pour expliquer les transformations des êtres vivants, on doit les tenir aujourd'hui pour démontrées. On a tenté de les évaluer en chiffres, en prenant en considération divers phénomènes, et, malgré les hypothèses qu'il a fallu faire pour cela, malgré les objections des derniers partisans de la chronologie des commentateurs de la Bible auxquels Cuvier donnait l'appui de son admirable érudition, la concordance des résultats obtenus en prenant des points de départ très différents, sans rapport entre eux, est telle qu'il est impossible de se soustraire à l'évidence d'une effarante accumulation de siècles dans l'intervalle de deux périodes géologiques. Le temps a bien été le grand ouvrier des transformations du Globe.

C'est seulement depuis la découverte du radium qu'il a été possible d'aborder par un calcul simple la question de l'âge de la Terre, ou plutôt de quelques-uns des minéraux qui constituent son écorce solide. Strutt a fait remarquer que quelques-uns de ces mi-

néraux contiennent à la fois de l'uranium, radio-actif comme le radium, et une certaine proportion du corps qui résulte de la décomposition de l'uranium, l'hélium. Il a calculé qu'il faut onze millions d'années à un gramme d'oxyde d'uranium pour produire un centimètre cube d'hélium. De la quantité d'hélium que contient un minéral on peut donc conclure à la quantité d'uranium qu'il contenait au moment de sa formation et le temps qu'il a fallu à cet uranium pour se transformer en hélium. Le calcul donne pour les zircons enchâssés dans les roches archéennes de l'Ontario 622 millions d'années, pour certaines hématites du Dévonien 145 millions d'années, pour d'autres minéraux 400 millions d'années, pour quelques-uns seulement 40 millions. En revanche, des masses rocheuses suédoises et américaines ont donné les chiffres de 1 300 et 1 400 millions d'années et des échantillons de Colombo, à Ceylan, jusqu'à 1 600 millions. Ces écarts permettent de déterminer l'âge des terrains dans lesquels les minéraux qu'ils présentent sont enfouis, d'évaluer par conséquent le temps qui s'est écoulé entre les périodes géologiques correspondantes. A la vérité ces différences peuvent tenir en partie à ce que les minéraux examinés ne se sont pas trouvés dans des conditions également favorables à la conservation de l'hélium.

Un autre problème a été posé : celui de la date de l'apparition de la vie sur la Terre, date nécessairement postérieure à celle où la température de la surface du sol est tombée au-dessous de 100°. Le premier, lord Kelvin l'a abordé et en a donné une solution approximative en assimilant, pour la commodité du calcul, la Terre à un boulet homogène qui aurait été porté au rouge, puis qu'on aurait laissé se refroidir. Dans cette hypothèse, assez différente, il est vrai, de la réalité, lord Kelvin trouve soit 100 millions, soit 20 millions d'années, suivant les hypothèses secondaires qu'il ajoute à la première. Mais le calcul peut être fait d'une autre façon, en supputant le temps qu'il a fallu aux diverses couches géologiques pour se former. On

suppose, bien entendu, que durant les périodes géologiques antérieures à la nôtre la vitesse de sédimentation a été la même que de nos jours. Comme on n'a que des notions vagues sur la réduction d'épaisseur qu'ont subie les plus anciens dépôts en se transformant en gneiss, il demeure vraisemblable que les évaluations faites par ce procédé demeurent au-dessous de la réalité, et l'erreur qui résulte de ce fait compense largement les exagérations qui pourraient résulter de la rapidité avec laquelle certains dépôts se constituent. D'après ces données Dana évalue à 15 millions d'années la durée de la période primaire; à 4 millions celle de la période secondaire, à 1 500 000 celle de la période tertiaire; ce qui donne un total de 20 millions d'années comme lord Kelvin l'avait trouvé précédemment. Quant à la période actuelle, sa durée a été calculée en partant d'un tout autre point de vue. Le Niagara, sortant du lac Érié, se jetait d'abord après un court trajet dans le lac Ontario. Mais peu à peu la falaise du haut de laquelle il tombait à été rongée; la chute est aujourd'hui à onze kilomètres du lac Ontario. En se basant sur les conditions actuelles du recul de la falaise, Lapparent évalue à 40 000 ans la durée de l'époque actuelle. Ce nombre se trouve confirmé si, en mesurant l'accroissement actuel des bancs de coraux, on cherche combien de temps ont mis à se souder à la presqu'île de la Floride les quatre bancs de coraux qui se sont rattachés à ses côtes primitives; 35 à 40000 ans ont été nécessaires pour cela. Le calcul du temps qu'il a fallu aux tourbières actuelles, pour se constituer, conduit aux mêmes résultats. On peut donc tenir pour très vraisemblable qu'il y a environ 40000 ans que l'Homme a commencé à se répandre sur la Terre.

De toutes ces données concordantes on peut, au moins, conclure que la surface de la Terre était déjà solide il y a de un milliard à deux milliards d'années. D'autres calculs indiquent qu'il y a au moins un trillion d'années qu'elle s'est séparée du Soleil et que la vie est un phénomène déjà extrêmement ancien.

Les changements prodigieux qui se sont produits au cours des âges dans la configuration des continents et des mers ont nécessairement beaucoup influencé la température moyenne d'une région donnée; suivant que la mer qui baignait ses côtes était en large communication avec les mers tropicales ou avec les mers polaires, la température de cette mer était plus ou moins élevée et celle du continent voisin était douce ou rigoureuse, le climat humide ou sec. Le climat était lié d'autre part à l'altitude des montagnes. Les chaînes calédoniennes et hercyniennes ont été complètement rasées durant les périodes primaire et secondaire; mais de l'inclinaison l'une vers l'autre des couches constituant les deux faces opposées, de distance connue, d'un pli anticlinal, on peut conclure la hauteur à laquelle s'élevait jadis le sommet de ce pli, et l'on trouve ainsi que les lignes de faîte de ces chaînes s'élevaient à plusieurs milliers de mètres au-dessus du sol, comme c'est le cas pour le faîte actuel de l'Himalaya. Ces hautes montagnes portaient à leur sommet un éternel manteau de neige comme de nos jours. Des glaciers, dont on a retrouvé les traces, même dans la période archéenne, coulaient dans leurs vallées, et l'air était par suite rafraîchi. Il y a donc eu à toutes les époques des régions relativement froides et des régions relativement chaudes, par conséquent des vents et des tempêtes, des pluies et de la neige; mais tout cela existe même dans les régions tropicales actuelles et nous verrons que le climat tropical a longtemps dominé dans le monde. On pourrait être tenté d'attribuer ce fait, aujourd'hui incontestable, à ce que la chaleur interne, très considérable encore sans doute, se faisait plus fortement sentir à travers une écorce solide moins épaisse. Mais il ne semble pas que depuis l'apparition de la vie sur la Terre cette chaleur ait joué un bien grand rôle. Nous n'avons d'ailleurs aucun moyen de calculer à combien de degrés s'élève la température au centre de la Terre. Dans les puits profonds des mines où la température a pu être observée, on constate

qu'elle augmente toujours à mesure qu'on descend ; mais elle augmente d'une façon étonnamment capricieuse. On appelle *degré géothermique* le nombre de mètres qui correspond à une augmentation de température de un degré. Dans les mines de Sperenberg, qui comptent parmi les plus profondes, le degré géothermique a pu être mesuré de 200 en 200 mètres jusqu'à une profondeur de 2 500 mètres; il varie de 16 à 140 mètres. On a cherché à relier les observations par une formule du second degré; c'est la suivante, S étant la profondeur en mètres et T la température :

$$T = 7^{\circ}8 + 0{,}12983572\,S - 0{,}00000125791\,S^2$$

Elle donne ce résultat stupéfiant qu'à une profondeur de 3 420 mètres il gèlerait si la température continuait à lui obéir jusqu'à cette profondeur; mais, si variable qu'en puissent être les lois, une augmentation continue de température ne peut se transformer en un abaissement conduisant à la température de congélation de l'eau. En admettant que le degré géothermique demeure constant et égal à 100 mètres, longueur voisine de la moyenne observée, on trouverait pour la température du centre de la Terre, situé à 6 350 000 mètres de profondeur, 63 500 degrés — ce qui est tout différent, mais évidemment impossible, cette température étant bien supérieure à celle qu'on attribue à la surface du Soleil.

Ces données contradictoires suffisent à établir combien nous serions ignorants de la constitution intérieure de notre Globe si d'autres documents n'étaient intervenus récemment. L'étude des laves provenant des éruptions volcaniques nous a conduits à penser qu'au-dessous de l'écorce solide, ou *lithosphère*, il existe une masse continue en fusion ignée, la *pyrosphère*, constituée par un magma chargé de fer et de magnésie, qui devient de plus en plus homogène à mesure qu'il est plus profondément situé, sa composition tendant alors à se rapprocher de celle du silicate de fer et de magnésie que les minéralogistes désignent sous le

nom de *péridot* (1). Or le péridot des régions profondes est toujours associé à du fer. Cette association se retrouve exactement dans les météorites que les recherches de Daubrée et de M. Stanislas Meunier ont conduit à considérer comme les débris disloqués d'un astre, peut-être une planète résiduelle formée presque en même temps que la Terre aux dépens du Soleil et dont l'orbite croiserait la nôtre périodiquement (2). La composition de ces météorites est dès lors susceptible d'être comparée à celle du noyau de la Terre qu'on appelle la *barysphère*. Cette barysphère serait constituée essentiellement par du fer métallique associé à du nickel, par une sorte d'acier. On s'expliquerait ainsi la ressemblance de ses propriétés avec celles des aimants et sa faculté d'orienter les boussoles. L'acier de nickel serait donc le métal essentiel, le support universel de la croûte terrestre.

L'étude des tremblements de terre est venue soutenir cette conclusion d'une façon aussi inattendue que précise. Après bien des essais plus ou moins grossiers, on a construit des appareils enregistreurs automatiques d'une telle sensibilité qu'ils signalent les tremblements de terre qui se produisent dans tous les lieux du Globe, fussent-ils très éloignés, ceux-là même qui sont situés au plus profond des mers. Des pendules verticaux, convenablement construits, inscrivent les composantes horizontales; des pendules horizontaux, les composantes verticales. Or les courbes inscrites par ces appareils, onduleuses comme celle qu'inscrit sur un cylindre tournant, enduit de noir de fumée, une pointe fixée à un diapason en pleine vibration, sont d'une remarquable uniformité. Pour

(1) La formule chimique du péridot est : $(MgO. FeO)^2 SiO^2$.

(2) Il est difficile d'admettre que cet astre ait été un ancien satellite de la Terre, analogue à la Lune. Les débris d'un tel satellite auraient formé un anneau autour de la Terre ou auraient tourné autour d'elle, comme la Lune, avant de tomber à sa surface lorsque leur vitesse tangentielle aurait été suffisamment ralentie. Cela ne paraît pas être le cas des météorites qui se présentent en essaims dont l'orbite ressemble plutôt à celle des comètes.

une même secousse de tremblement de terre, elles se décomposent en trois parties, différant seulement par la longueur et l'amplitude de leurs sinuosités, et qui viennent s'inscrire successivement. Du temps qu'ont mis à venir s'inscrire ces vibrations, de ce que l'on sait d'après les expériences de Wertheim sur le mode de transmission des vibrations à travers les corps solides, lord Rayleigh a pu conclure que la première partie de la courbe et la seconde représentent des vibrations transversales et longitudinales, transmises à travers la barysphère; la troisième des vibrations, les dernières venues, transmises à travers l'écorce terrestre, la lithosphère. Or la vitesse de transmission des deux premières séries d'ondulations, $9^{km},6$ et 5 kilomètres par seconde, indique que ces ondulations ont été transmises à travers un *milieu plus rigide que l'acier*. La densité de ce milieu, calculée par Roche, serait au maximum 10,6 et tout au moins un peu supérieure à celle du fer 7,7. Il y a là des concordances troublantes par la diversité même des considérations qui nous ramènent toutes à cette idée que le noyau du Globe terrestre pourrait bien être solide et constitué essentiellement par du fer.

Toutefois, il ne faut pas oublier que tous les métaux plus lourds que le fer, ceux surtout qui se combinent difficilement avec les métalloïdes, comme l'or et le platine, sont bien vraisemblablement au moins aussi largement représentés dans la barysphère que dans la lithosphère et que, d'autre part, le mode de transmission des vibrations lumineuses à travers l'Éther interstellaire a également conduit à conclure qu'il était « plus rigide que l'acier », ce qui ne veut pas dire qu'il soit solide, au sens où nous entendons ce mot. Le mot rigidité signifie simplement que les molécules du corps que l'on considère ne se laissent déplacer que difficilement, et ont une tendance énergique à revenir à leur place dès qu'on les en écarte. Pour ce qui est de la barysphère, la rigidité de sa substance semble être la conséquence de la colossale pression à laquelle elle est soumise

et qui maintient ses molécules en place, sans nous renseigner ni sur leur nature, ni sur leur température. Sous une pression si colossale, la chaleur peut ne plus avoir d'action sur la mobilité des molécules ; tous les corps doivent paraître rigides et solides. Les distinctions qu'à la surface de la Terre nous établissons entre les états des corps, n'ont plus de sens dans ses régions centrales.

Quoi qu'il en soit, si la chaleur interne se fait aussi peu sentir actuellement sur la surface, il y a lieu de penser qu'elle influait également fort peu à une époque où la couche de première consolidation pouvait supporter des sédiments de plus de vingt mille mètres d'épaisseur, comme c'était déjà le cas au début de la période primaire, tout près de l'époque d'apparition de la vie. Les climats ont été réglés dès cette époque par une action extérieure au Globe, et cette action n'était autre, sans doute, que celle du Soleil — dont il convient maintenant d'étudier l'intervention.

CHAPITRE III

LE SOLEIL ET LES VARIATIONS DES CLIMATS

Après lui avoir donné naissance, le Soleil est demeuré uni à la Terre, comme aux autres planètes du reste, par des liens étroits qui justifient de plus en plus, à mesure que nous les connaissons mieux, le culte que lui vouèrent, sous des formes diverses, tant de peuples de l'antiquité. Du Soleil la Terre retient encore, en dehors de sa constitution matérielle, sa chaleur centrale et les mouvements qui la font tourner sur elle-même ou décrire, sans arrêt, la vaste ellipse de son orbite. De ces mouvements sont issus les jours et les nuits et la succession régulière des saisons, signes manifestes de la tutelle dans laquelle nous tient encore le père des astres, en nous maintenant, par la chaîne mystérieuse de l'attraction, dans le manteau resplendissant de pourpre et d'or de ses rayons.

Rien sur notre Terre ne se passe sans son intervention. C'est lui qui, pénétrant les eaux de la mer, en écarte les molécules au point de les rendre invisibles, et les aspire dans l'air où elles se rapprochent, quand il les abandonne à elles-mêmes, pour former les nuages; lui qui, en échauffant inégalement les régions diverses du Globe, fait naître les vents chargés de nuées d'où tomberont les pluies fertilisantes, grâce auxquelles la vie a pu se développer sur les continents; lui qui fait apparaître dans la trame vivante des végétaux la matière verte, la chlorophylle, c'est-à-dire la substance active qui, mise en branle par ses rayons, accomplira, en unissant de l'eau et de l'acide carbonique, tout en libérant de l'oxygène consommé par les animaux, le miracle de la fabrication des sucres et des amidons, qualifié

par les chimistes d'*hydrates de carbone* parce qu'ils sont uniquement composés d'eau et de charbon, et qui sont la source première et unique de tous les aliments, tant pour les plantes que pour les animaux ; lui, par conséquent, qui seul est capable d'entretenir la vie sur le Globe. Il règle les conditions de son développement aussi bien dans les océans que sur la terre ferme. D'innombrables algues vertes microscopiques flottent à la surface des eaux, par les temps calmes et clairs. Elles viennent, à l'appel du Soleil, fabriquer les aliments qui leur permettent de se multiplier avec rapidité ; elles sont elles-mêmes l'inépuisable provende vers laquelle accourt la prodigieuse légion des infusoires, des larves délicates, presque microscopiques d'animaux marins de toutes sortes : vers, étoiles de mer, oursins ; des menus crustacés qui forment l'interminable cohorte des Copépodes, en un mot de tout ce petit monde, sans cesse grouillant près de la surface des eaux toute pénétrée de lumière, auquel le hardi naturaliste d'Iéna, Hæckel, a donné le nom de *plankton*, en y comprenant les algues elles-mêmes. Friands de Copépodes, arrivent alors les harengs, les sardines et les maquereaux, poursuivis par les germons, les thons, les bonites auxquels les marsouins, les requins et même les dauphins donnent enfin la chasse. Que les temps soient clairs, la température clémente, tout ce mouvement se dessine ; la pêche est fructueuse ; l'aisance et la joie se répandent sur nos côtes parmi les pêcheurs. Que le ciel se voile, que les vents soulèvent les vagues, agitent les eaux qui se chargent de débris néfastes pour leur transparence, le plankton fuit la surface désormais souillée, descend dans les zones calmes, entraînant avec lui tous les êtres qui vivent à ses dépens : harengs, sardines et maquereaux se font rares. Les pêcheurs ne gagnent plus leur vie et leurs lamentations se font entendre jusqu'à la tribune du parlement.

Tout cela est l'œuvre du Soleil. Là ne s'arrête pas son activité. En créant les vents qui transportent les nuages dans les hauteurs de l'atmosphère, et laissent ensuite retomber les pluies

sur le sol, il transforme sa chaleur en mouvement. L'eau qui tombe sur les hautes chaînes de montagnes et ruisselle sur leurs pentes les dégrade lentement; mais, si faible qu'elle soit, son action continue produit des effets prodigieux. Les montagnes hautes de sept à huit mille mètres qui composaient la chaîne Huronienne, celles qui constituaient la chaîne Calédonienne, plus récente, ont été ramenées au ras du sol par la puissance des érosions, et l'on peut dire que ces érosions sont le fait du Soleil. De lui dépend encore la force vive des cours d'eau, celle que développent les vagues en lutte contre les continents, celle même que la terre cache dans son sein sous forme de houille, car il est le principal édificateur des tissus végétaux. Et comme les végétaux, fils du Soleil, sont directement ou indirectement l'unique source où les animaux puisent les aliments qui les font vivre, ils lui doivent encore leur faculté de se mouvoir. Le frémissement des feuilles agitées par la brise, la dévastation que les cyclones laissent sur leur passage, les rides légères que dessinent les zéphirs sur la surface des eaux paisibles, comme les vagues démesurées que soulèvent les tempêtes, la course tranquille des rivières, comme les colères impétueuses des torrents, sont aussi bien son œuvre que la maladroite reptation du ver de terre, la course intrépide des gazelles ou le vol hardi des aigles. Quand les fées de Shakespeare soupiraient dans le *Songe d'une nuit d'Été :*

> Bercez, bercez la jeune souveraine,
> Doux bruits des vents, du feuillage, des eaux;
> Doux rossignols, bercez, bercez la reine
> Et charmez son repos,

c'était une prière qu'en fait elles adressaient au Soleil, aussi bien responsable des éclats du tonnerre que du chant des oiseaux, que de tous les bruits qui prennent naissance à la surface de la Terre. De l'aveu des météorologistes les taches même de sa surface influeraient sur notre atmosphère, les

périodes sèches ou pluvieuses correspondraient à la quantité des taches observées sur son disque. Le nombre de ces taches passerait tous les onze ans par un maximum qui correspondrait justement avec nos années pluvieuses, et l'on a été jusqu'à penser — ce qui est peut-être beaucoup — que ce maximum correspondrait aussi à une période où les tremblements de terre seraient plus fréquents.

Le jour et la nuit, le retour périodique des saisons dépendant également du Soleil, c'est encore grâce à lui qu'il y a des animaux diurnes et des animaux nocturnes, qui passent quotidiennement les uns et les autres par des périodes d'agitation et de repos; c'est grâce à lui enfin qu'un surcroît de vie se répand au printemps sur la nature entière, et que tous les êtres se disposent à se multiplier, chacun suivant son espèce... Le Soleil régit donc sur notre Globe toute activité; de la façon dont il nous dispense sa chaleur et sa lumière, dépendent tous les mouvements qui animent l'atmosphère et les mers, tous les phénomènes de la vie. Nous sommes amenés, par conséquent, à étudier en détail les divers rapports qui nous unissent à lui, les modifications que ces rapports ont pu éprouver dans le cours des âges, celles enfin qu'il a pu subir lui-même.

La Terre est animée de mouvements multiples : elle tourne sur elle-même et la durée de sa rotation est ce que les astronomes appellent un *jour*; l'axe autour duquel elle tourne est une ligne droite, fixe par rapport à elle, et les points immobiles de sa surface qui représentent les extrémités de cette ligne idéale sont ce que nous appelons les *pôles*; le plan perpendiculaire à cet axe qui passe par le centre de la Terre et qui coupe la surface suivant un grand cercle est l'*équateur*. La Terre se déplace, en outre, autour du Soleil en décrivant une ellipse dont il occupe un des foyers, et le temps qu'elle met à accomplir le trajet mesure la durée d'une *année*. L'ellipse décrite par la terre est son *orbite*, et le plan de l'orbite s'appelle l'*écliptique*. Si l'axe de rotation de la Terre

était perpendiculaire à l'écliptique, l'équateur serait situé dans ce plan ; chacun des points de la Terre serait en tout temps éclairé exactement pendant la moitié de la durée de la rotation; par restriction, dans le langage courant, on appelle *jour*, pour chaque point de la Terre, non pas le jour astronomique, mais la fraction de ce jour durant laquelle ce point est éclairé. Dans l'hypothèse de la coïncidence du plan de l'équateur avec celui de l'écliptique, les jours seraient sur toute la surface de la Terre égaux aux nuits. Mais il n'en est pas ainsi. Ces deux plans, nous l'avons dit, font actuellement entre eux un angle de 23° 27′ 21″. En raison de cette inclinaison, il est facile de s'assurer, par des constructions géométriques fort simples, que les points de la Terre situés sur l'équateur sont les seuls où les jours et les nuits soient rigoureusement égaux durant toute l'année. Au contraire, chaque pôle est dans la nuit pendant six mois, et possède en revanche un jour de six mois, le jour de l'un des pôles coïncidant avec la nuit de l'autre, et réciproquement.

Pour tous les points de la Terre situés sur un petit cercle dont la distance au pôle se mesure par un arc de cercle de 23° 27′ 21″, il y a un jour et une nuit consécutifs de vingt-quatre heures, au moment où le plan de l'axe terrestre et de la normale à l'écliptique passant par le centre de la terre passe également par le centre du Soleil. Ce moment est celui des *solstices*. On donne le nom de cercles polaires aux petits cercles réalisant ces conditions pour chaque pôle. Pour tous les points situés entre ces cercles et les pôles la durée du jour et de la nuit est supérieure à un jour astronomique : tous ces points sont situés dans les *zones glaciales*. De chaque côté de l'équateur un petit cercle, situé lui aussi à une distance de 23° 27′ 21″ de l'équateur, délimite une région dont chaque point voit deux fois par an le Soleil exactement sur sa verticale, c'est-à-dire au *zénith*, au moment même où les jours et les nuits sont, sur les deux cercles polaires, égaux à la durée d'un jour astronomique. Cette zone

est la *zone torride*; les petits cercles qui la délimitent de chaque côté de l'équateur sont les *tropiques*, aussi l'appelle-t-on également *zone intertropicale*. Entre les tropiques et les cercles polaires s'étend la *zone tempérée*, où la durée de la clarté du jour et de l'obscurité de la nuit est toujours inférieure à celle d'une révolution de la Terre, mais où le Soleil ne passe jamais au zénith.

Au moment où le plan de projection de l'axe terrestre sur l'écliptique devient perpendiculaire à la ligne qui joint le centre de la Terre au centre du Soleil, les jours sont égaux aux nuits sur tous les points du globe, c'est l'époque de l'*équinoxe*; à partir de ce moment l'inégalité des jours et des nuits commence dans les deux hémisphères, mais dans l'un les nuits s'allongent, tandis que dans l'autre elles se raccourcissent; le premier s'achemine par l'automne vers l'hiver; le second par le printemps vers l'été. Le point culminant de la saison chaude, que nous appelons l'été, concorde avec le moment où la terre est à mi-chemin des deux équinoxes; c'est le *solstice d'été*; il y a de même un *solstice d'hiver*. La saison chaude correspond dans notre hémisphère à la période où la Terre se dirige vers le sommet de son orbite le plus éloigné du Soleil; c'est la longueur des jours et non la proximité du Soleil qui élève la température. Comme la longueur des jours est la même dans les deux hémisphères, l'été de l'hémisphère austral est un peu plus chaud que le nôtre, la Terre étant alors plus près du Soleil qu'elle ne l'est durant notre été. L'année se divise donc en quatre saisons : le *printemps*, l'*été*, l'*automne*, l'*hiver*.

Ces données ne sont pas fixes, comme on pourrait l'imaginer de premier abord. L'axe terrestre ne demeure pas parallèle à lui-même. Il décrit autour d'une ligne perpendiculaire à l'écliptique un cône à contour sinueux, en même temps que l'orbite elle-même tourne dans son plan. Ces mouvements combinés font que la ligne des équinoxes, passant par le centre de l'orbite, tourne, dans le plan de celle-ci, de 62″ par

an, comme si elle allait à la rencontre de la Terre, avançant ainsi peu à peu l'époque des équinoxes ; la ligne des équinoxes met 21 000 ans à accomplir une rotation complète. La durée des saisons varie elle-même périodiquement; dans les conditions actuelles de notre hémisphère, le groupe printemps-été dure huit jours de plus que le groupe automne-hiver. Il y a, pour cette raison, un léger relèvement de température au profit de ce groupe. L'inverse aura lieu dans 10 500 ans.

L'excentricité de l'orbite terrestre subit, elle aussi, de très importantes variations; elle est aujourd'hui de 1/60; mais elle peut s'élever à 1/145; c'est-à-dire que l'orbite peut s'allonger, la terre s'éloignant du Soleil beaucoup plus qu'elle ne le fait aujourd'hui, et s'en approchant davantage, ce qui ne pourrait manquer d'établir entre les saisons froide et chaude beaucoup plus de différence qu'il n'y en a de nos jours, surtout si la ligne du solstice coïncidait avec le grand axe de l'orbite. Inversement, si l'excentricité était nulle, c'est-à-dire si l'orbite terrestre devenait circulaire, ce qui est possible, la Terre étant durant toute l'année à la même distance du Soleil, les saisons seraient moins accusées qu'aujourd'hui. Ces alternatives n'ont pu manquer de se produire au cours des millions d'années que représentent les périodes géologiques. Mais il y a plus; dans la phase actuelle de notre système planétaire, l'angle que font entre eux le plan de l'équateur et celui de l'écliptique ne varie que dans d'étroites limites : il va de 21° 59′ à 24° 36′ environ. Ces deux plans ne peuvent donc pas coïncider, ce qui supprimerait les saisons. Seulement d'autres conditions astronomiques agissent sur la position de l'axe terrestre; tout changement dans la forme de la Terre, qui n'est pas immuable, toute modification dans la répartition des matériaux qui composent sa masse, peut amener un déplacement de l'axe de rotation par rapport à la surface, autrement dit un déplacement de la ligne des pôles, changer par conséquent profondément les climats des diverses régions du Globe; on a même pensé que l'accumulation

des glaces à l'un des pôles, de préférence à l'autre, pouvait produire cet effet.

D'autre part, le Soleil lui-même n'est pas demeuré invariable. Depuis que la Terre s'est détachée de lui, il n'a cessé de se rétrécir par suite de son refroidissement et aussi parce qu'il a donné naissance à deux planètes : Vénus et Mercure, qui ont nécessairement diminué sa masse. Or, il suffirait que le diamètre apparent du Soleil fût de 47° pour que la région éclairée de la Terre fût beaucoup plus grande que la région privée de lumière (1), au lieu de lui être égale comme de nos jours. Dans ces conditions, les longues nuits polaires seraient supprimées ; il n'y aurait plus de saisons. Les vingt millions d'années depuis lesquelles la vie s'est manifestée sur la Terre ont dû être témoins de telles modifications climatologiques (2). Les calculs de Blandet l'ont conduit à penser que, durant ces vingt millions d'années, le diamètre du Soleil a pu diminuer de moitié. Il était, au début de la vie, assez large pour que la nuit fût supprimée presque partout. Ceux de J. Bosler (3) conduisent à conclure que, par le seul fait de sa radiation, il doit perdre en trente millions d'années une masse équivalente à celle de la Terre. Cette diminution de masse combinée avec les modifications dans la longitude de la Terre entraînerait un ralentissement de la marche de la Terre équivalant au bout du même temps à un retard de 36 jours pour les saisons. La température du Soleil a dû également diminuer depuis l'époque de la naissance de la vie. On s'accorde peu sur ce qu'elle doit être actuellement. M. Violle la réduit à 2 500 degrés ; lord Kelvin la portait à 14 000 ; M. Le Chatelier s'arrête à un nombre intermédiaire : 7 500 degrés. Et on considère comme le plus probable 6 000 degrés.

Quoi qu'il en soit, la diminution de la température solaire a dû changer la nature de la lumière qu'il émet. C'est actuellement une étoile jaune ; mais il y en a dans le firmament de

(1) V *bis*, 32. — (2) IX, 122. — (3) XI.

blanches et de bleues qui sont plus chaudes. Le Soleil a dû appartenir à un certain moment aux étoiles de cette catégorie. La lumière qu'il envoyait à la Terre était alors plus riche en rayons chimiques, en rayons bleus ou violets et en rayons obscurs ultra-violets. L'activité de cette lumière était bien plus grande et autre que celle de la lumière solaire actuelle. Elle a dû produire sur la Terre des phénomènes chimiques qui sont impossibles aujourd'hui. Nous aurons à faire appel à cette importante donnée; pour le moment, nous pouvons conclure qu'à une époque peu lointaine relativement à la durée des périodes géologiques, le Soleil avait des dimensions suffisantes pour que les climats des régions du Globe correspondant à celles qui sont actuellement émergées fussent fort différents de ce que nous les voyons aujourd'hui. Il y avait à cela, d'ailleurs, des raisons plus prochaines, grâce auxquelles les climats ont dû changer plusieurs fois en un même lieu. Ce qui détermine actuellement les caractéristiques climatologiques, c'est l'altitude au-dessus du niveau de la mer, la proximité de hautes chaînes de montagnes portant des neiges éternelles et des glaciers, la position relativement à la mer de ces chaînes d'où descendent des vents glacés ou brûlants, suivant que l'air qu'ils charrient était sec ou humide en les abordant; c'est aussi la distance de la mer et, dans son voisinage, sa température fort différente suivant qu'elle est en large communication avec les mers chaudes équatoriales ou avec les mers froides des régions polaires.

Nous avons vu qu'au cours des périodes géologiques, de puissantes chaînes de montagnes se sont formées qui ont été ensuite lentement nivelées : leur graduelle surélévation refroidissait peu à peu le climat à leur pied, tandis qu'autour d'elles changeaient incessamment les rapports réciproques des îles, des continents et des mers. Non seulement il en résultait, en chaque lieu, des modifications lentes et continuelles dans l'allure générale des phénomènes météorologiques, mais tout le travail qui résulte sur le Globe de l'intervention

de l'énergie solaire changeait consécutivement d'aspect.

L'étude qu'ont faite les paléontologistes des végétaux et des animaux dont les restes nous ont été conservés semble venir à l'appui de tout ce que nous venons de dire sur les changements des climats. Actuellement il y a des animaux et des plantes qui sont propres aux pays froids, d'autres aux pays tempérés, d'autres aux pays chauds. Les conifères, les bouleaux et les arbres analogues forment le fond de la végétation des hautes montagnes et des régions qui avoisinent les cercles polaires; les plantes annuelles, les arbres à feuilles caduques abondent dans les régions tempérées; les fougères arborescentes, les cycadées, les palmiers, les monocotylédones à larges fleurs, les plantes à épices : canneliers, girofliers, etc., évoquent aussitôt l'idée des pays chauds; de même les bancs de coraux, les grands coquillages font immédiatement penser aux mers tropicales, et il est d'opinion courante que seuls les pays chauds peuvent nourrir de grands reptiles, comme les crocodiles, des oiseaux tels que les perroquets, ou encore des éléphants, des rhinocéros, des hyènes, des panthères, des lions, des tigres, des singes. On juge le climat d'une région par la présence parmi les fossiles des débris de végétaux ou d'animaux analogues à ceux dont nous connaissons aujourd'hui l'habitat. La méthode est loin d'être irréprochable, et la mésaventure arrivée à Cuvier lui-même suffit à indiquer qu'il faut ici procéder avec la plus extrême prudence. L'éléphant était pour le grand naturaliste un animal des pays chauds; la découverte de cadavres de mammouths possédant encore leur chair et leurs poils, enfouis dans les glaces de la Sibérie, lui semblait prouver que ce pays avait autrefois joui d'un climat tropical, et, pour expliquer l'enfouissement dans la glace de ces éléphants, il n'hésita pas à admettre qu'au cours de quelque miraculeux cataclysme ce climat tropical avait été *instantanément* remplacé par un *climat glacial*. En fait, les mammouths étaient des éléphants velus, organisés pour vivre dans les pays froids, où ils avaient pour compagnons

des rhinocéros et d'autres animaux dont les analogues sont aujourd'hui confinés dans les pays chauds.

Les êtres vivants sont, en effet, des thermomètres fort infidèles, et cela pour deux raisons.

1° Comme ils ne se sont produits que successivement, les premiers réalisés se sont répandus sans difficulté sur le monde entier, et la composition des flores et des faunes présentait alors une homogénéité qui donne l'impression d'une grande ressemblance dans les conditions d'existence, parce que nous sommes habitués à voir une relation étroite entres ces conditions, quand elles sont diverses, et la présence de certains groupes de plantes ou d'animaux. C'est le cas, par exemple, pour les fougères, les prêles, les lycopodes, les conifères, les cycadées qui ont composé, pendant toute la période primaire, la flore des continents, puisqu'il n'y avait pas à ce moment de plantes à fleurs; c'est aussi le cas pour les trilobites, les poissons à squelette cartilagineux, et les batraciens cuirassés qui dominèrent dans la faune.

2° Une même faune animale peut se prêter aux conditions climatériques les plus variées et y résister.

Le tigre se rencontre sur les hauts plateaux si froids du Thibet; le père Armand David en a ramené des singes et des perroquets, et M. Lefebvre conte dans son beau livre sur l'Énergétique et la chaleur animale qu'il a réussi à faire vivre un Cercopithèque sous la neige (1). Nos animaux domestiques sont là enfin pour prouver combien est large la mesure dans laquelle l'organisme des animaux se prête aux conditions d'existence les plus variées.

A plusieurs reprises d'ailleurs les glaciers ont laissé après eux des traces qui donnent sur les régions envahies par le froid des renseignements plus précis que ceux fournis sur la chaleur par les êtres vivants. C'est ainsi que l'existence des glaciers à l'époque algonkienne, celle où venaient à peine de se former

(1) XII, 407.

les plus anciens gneiss, a été constatée au Canada, dans l'Ontario entre les lacs Supérieur, des Bois et Temiscaming, dans le Minnesota, le Michigan, au Spitzberg, au cap de Bonne-Espérance. C'était l'époque où la chaîne calédonienne atteignait la plus grande hauteur; à ce moment il y avait, non seulement des glaciers polaires, mais des glaciers comparables à ceux qui marquèrent plus tard les débuts de l'époque quaternaire après la formation des chaînes alp-himalayennes. Ces glaciers se perpétuent ensuite à la base des terrains cambriens en Norvège, à Yang-Tsé, à Simla dans l'Inde, au sud de l'Australie. Ce n'est pas une raison, nous l'avons dit, pour croire que le climat se fût à cette époque refroidi; il y a actuellement des glaciers sous l'équateur.

Sous le bénéfice de ces réserves, il convient de mentionner ici les conclusions auxquelles ont cru pouvoir s'arrêter les géologues relativement aux climats des diverses époques géologiques.

La température des mers semble avoir été à l'époque cambrienne très uniforme, et on ne voit réellement pas pourquoi, à moins que l'orbite terrestre n'ait été à ce moment très aplatie, cette température aurait été plus basse que durant la période silurienne qui suit. Or l'abondance des coraux sous toutes les latitudes, dans les mers siluriennes, indique des mers chaudes, la sécrétion du calcaire par les organismes marins étant d'autant plus active que la température est plus haute. On ne trouve pas de traces de glaciers siluriens, mais cela peut tenir simplement à ce que l'érosion avait suffisamment abaissé les montagnes de la chaîne Calédonienne pour qu'elles ne fussent plus aptes à amasser sur leurs sommets des neiges éternelles. On n'a aucune raison de supposer que les choses aient changé durant la période dévonienne, bien qu'on ait signalé quelques glaciers au cap de Bonne-Espérance. Au contraire, les coraux continuent à prospérer autour du continent Nord-Atlantique, dans la région qui correspond au futur emplacement de la

chaîne Hercynienne, du Plateau Central, de la Bohême, etc.; de plus, l'abondance de grès rouge, dont la coloration correspond à celle qui se produit de nos jours dans les régions désertiques, sous l'influence d'une forte insolation, semble indiquer que dans des régions aujourd'hui tempérées la radiation solaire était beaucoup plus puissante qu'à notre époque. Les glaciers du cap de Bonne-Espérance ont, à la vérité, suggéré l'idée qu'à ce moment le pôle Sud avait pu se déplacer de 60°, mais il en aurait dû être de même du pôle Nord et on ne trouve dans l'hémisphère Nord aucune indication d'un tel déplacement; il faut donc admettre que les glaciers du Cap dépendent bien d'un phénomène local : la présence, à cette époque, dans cette région, d'une haute chaîne de montagnes. Après une période de repos, cette chaîne semble avoir gagné d'autres parties de l'Afrique du Sud, l'Inde, l'Australie. Durant la seconde moitié tout au moins de la période anthracolithique, pendant laquelle s'est formée la houille, d'énormes glaciers se réunissant sur certains points se développaient sur les flancs de hautes montagnes, dans la région méridionale du vaste continent de Gondwana, qui englobait à cette époque le Brésil, l'Afrique, Madagascar, l'Inde, la Nouvelle-Guinée et l'ouest de l'Australie, et dont la côte sud était baignée par les mers australes.

C'est aussi le moment où les sommets de la chaîne Hercynienne se dressent sur le continent Nord-Atlantique que baigne la Tèthys tropicale. Sur les deux continents Nord-Atlantique et de Gondwana la végétation terrestre prend, pendant la première partie de la période carbonifère, une importance qu'elle n'avait pas eue jusque-là. Le soulèvement de la chaîne Hercynienne, les éruptions volcaniques qui l'accompagnent, troublent les eaux; les coraux quittent nos régions; mais, s'ils se retirent, c'est vers le nord : en Belgique, dans la région de Dinant; en Angleterre, dans la chaîne Pennine et même plus près du pôle. La température de la mer dans cette région ne descend donc pas au-dessous de 20°, température nécessaire au

développement des récifs actuels de coraux. La chaîne Hercynienne atteint bientôt ses plus grandes hauteurs; ses pentes se couvrent d'arbres à végétation rapide, appartenant à des familles de plantes sans fleurs, qui n'ont plus de nos jours que de modestes représentants herbacés : les lycopodes, les sélaginelles, et les prêles, ou chez qui les fleurs ne sont encore qu'ébauchées comme nos conifères. Les torrents qui coulent sur ces pentes aboutissent à de puissants cours d'eau, déracinent les arbres, les entraînent dans des lacs, dans de larges estuaires où ils s'amoncellent, et préparent la formation de bassins houillers tels que ceux du sud de l'Angleterre, du nord de la France et de la Belgique. Au pied de leurs pentes, dans de vastes marécages, poussent aussi des plantes à longs rhizomes, des fougères, ou des cycadées dont les feuilles, les branches mortes, les troncs s'accumulent sur place et produiront des bassins houillers d'un autre genre, ceux du Plateau central par exemple. La puissance de ces dépôts est telle que, par une illusion semblable à celle qui fit naître dans l'esprit de Cuvier l'idée des révolutions du Globe, on a imaginé qu'il avait fallu pour leur donner naissance une température exceptionnellement chaude, une atmosphère particulièrement humide et chargée d'acide carbonique. Rien de tout cela n'était nécessaire; il a fallu simplement des pentes pouvant porter une végétation serrée, une température uniforme, une atmosphère moyennement humide, permettant une végétation rapide et continue. Et, en effet, on ne trouve aucune trace, sur la coupe des troncs d'arbres, de ces cercles concentriques qui, sur la coupe de ceux de notre temps, inscrivent les alternatives des saisons. A l'époque carbonifère, la Terre jouissait d'un printemps perpétuel, mitigé dans les régions de haute altitude, rappelant nos régions alpestres par la présence de neiges perpétuelles et de glaciers. Tout cela s'accorde avec l'hypothèse d'un plus grand diamètre du Soleil. L'absence de plantes à fleurs devait faire paraître la végétation beaucoup plus uniforme que de nos jours; la jeunesse des plantes terrestres

explique d'autre part que leurs formes initiales se fussent encore peu émiettées en espèces. Les mêmes plantes se retrouvent, en effet, dans toute l'étendue du continent Nord-Atlantique. Une pareille uniformité caractérise le continent de Gondwana ; mais les deux flores sont tout à fait différentes. La flore relativement pauvre du continent de Gondwana, dite flore à *Glossopteris*, semble indiquer que la température moyenne y était moins élevée, surtout dans le Sud, que sur le continent Nord-Atlantique, à moins que la végétation de ce continent ne fût plus récente; elle s'étendra plus tard sur d'autres régions.

A la fin de la période, la belle flore du continent Nord-Atlantique va du reste s'appauvrir ; le climat présente sur de grandes étendues de l'Allemagne du Nord, des Alpes méridionales, de la Russie orientale, des États-Unis, des alternatives de pluies abondantes qui entraînent dans les sables, aujourd'hui transformés en grès, les substances chimiques qu'elles ont dissoutes, et de longues périodes de sécheresse et de chaleur qui ont fait prendre à ces grès la couleur rouge caractéristique des formations désertiques, ne permettent plus une abondante végétation. Les espèces caractéristiques du continent Nord-Atlantique ne se défendent plus contre une invasion des espèces plus résistantes du continent de Gondwana, qui d'ailleurs n'ont pas eu à subir l'assaut de chaleurs sèches comparables à celles du Sahara actuel. Cette période d'appauvrissement de la flore septentrionale est la période permienne. Il s'est peut-être produit à ce moment un phénomène analogue à celui qui a donné naissance au désert de Gobi, au pied du massif du Thibet.

Nous arrivons ainsi au début de la période secondaire, au trias, où il semble que l'altitude des montagnes Hercyniennes ait été fort amoindrie, soit par une période déjà longue d'érosion, soit par des affaissements. Les montagnes, ces appareils puissants de condensation atmosphérique, s'étant singulièrement réduites, les glaciers semblent avoir disparu, les pluies

être devenues moins abondantes. Le climat sec et chaud de certaines régions, à l'époque du permien, paraît s'être généralisé ou tout au moins étendu.

Jusqu'ici, s'il y a des différences locales de la température moyenne, rien n'indique que l'on ait encore à considérer sur la surface du Globe des zones correspondant à nos zones climatériques actuelles. A défaut d'une preuve positive que l'axe terrestre se soit plus rapproché à cette époque d'une position normale à l'écliptique que ne le permettent ses variations périodiques de position, et qu'à ce moment même, l'orbite soit devenue voisine de la forme circulaire, il reste à admettre, nous l'avons vu, que le diamètre apparent du Soleil était beaucoup plus considérable. Il suffit que ce diamètre se soit amoindri quelque peu, pour donner naissance, sans que l'axe terrestre ait changé de position, à deux zones polaires, séparées par une zone torride très étendue, car il existe encore des récifs et des îles madréporiques dans les régions d'Europe correspondant à l'Alsace, au nord de la France, au pays de Galles. Cette zone torride semble caractériser le climat de la période jurassique.

Durant cette calme période secondaire où aucune chaîne de montagne ne surgit, où les érosions continuent lentement leur œuvre, il ne peut se produire aucun à-coup; pas de glaciers dans les hautes vallées, pas de condensations atmosphériques violentes ; mais un lent retrait vers le sud des formations coralliennes indiquant que la zone chaude se resserre, que des zones tempérées commencent à se caractériser au voisinage des régions polaires. Les coraux continuent à persister longtemps en Alsace, en Suisse, dans les cantons d'Argovie et de Fribourg, dans le Jura, et ils ont formé en Lorraine des récifs de 20 mètres d'épaisseur; mais la flore qui s'étend du 50e au 71e degré de latitude est une flore tempérée et les alternatives annuelles de température se marquent dans le tronc de certaines Conifères, notamment de celles découvertes dans la terre de

Graham que borde le détroit de Vancouver, et dans celui des Araucariées par l'apparition de ces cercles concentriques que l'on connaît chez les conifères et les arbres dicotylédonés de nos pays, tandis qu'ils font défaut dans ceux de la zone torride. Il y a donc des saisons dans les régions polaires, qui continuent cependant à jouir d'un climat très doux durant toute la période jurassique, tandis que le climat tropical persiste dans les régions tempérées actuelles, car si les coraux disparaissent momentanément au nord du Plateau central, sans doute par suite d'un changement dans la direction des courants, ils se retrouvent à partir du Poitou dans la Tèthys et reparaissent plus tard dans les Ardennes, et plus tard encore aux environs de Trouville, sur la frontière orientale de la Lorraine, au nord du Morvan, à Bourges, à Sancerre, et jusque dans le comté d'York en Angleterre; ils persistent même ultérieurement dans le Jura.

Cet état de choses se transforme assez vite durant la période crétacée qui suit. Les coraux sont tout à fait remplacés dans la région méditerranéenne par de singuliers mollusques lamellibranches, les Rudistes, vivant, eux aussi, par bancs immenses, venant des mers chaudes, mais se contentant d'une moindre température. Les plantes dicotylédones à feuilles caduques font leur apparition et se développent de plus en plus dans les régions septentrionales; mais dans ces régions la température demeure cependant sinon très élevée, au moins très douce et assez constante, comme sur nos côtes de Bretagne, car l'arbre à pain et diverses cycadées y prospèrent, à côté de dicotylédones à petites fleurs: saules, peupliers, bouleaux, chênes, noyers, platanes, figuiers, ou à feuilles persistantes, comme les lierres, les lauriers-roses. On y trouve aussi quelques gamopétales, les viornes, et même des monocotylédones.

Le Groënland, le Spitzberg garderont encore durant la période nummulitique, qui marque le début de l'ère tertiaire, et conser-

veront même pendant la période néogène qui suit, une flore très riche, établissant clairement que les régions polaires n'ont pas encore été touchées par un très grand abaissement de température. Leur température était, en effet, voisine de celle des régions méditerranéennes actuelles. La terre de Grinnel, par 82° de latitude, avait le climat actuel des Vosges ; il y poussait des peupliers, des bouleaux, des sapins argentés, des nénuphars ; au Groënland, par 70°, vivaient des magnolias. Un peu plus tard, durant la période oligocène, il se fait, dans les régions correspondant à nos régions tempérées actuelles, tantôt un mélange, tantôt une localisation des flores tempérées et des flores tropicales, indiquant que la végétation subit l'influence de la température des courants qui longent les côtes. D'autre part la composition de la flore arctique durant la période néogène marque un refroidissement très net de cette région. C'est durant cette période que se forment les plus grandes chaînes de montagnes de l'époque actuelle et, comme cela s'est produit lors de la formation des chaînes calédoniennes et hercyniennes, les glaciers ne tardent pas à faire leur apparition.

Peu à peu les plantes des pays chauds descendent vers le midi et sont remplacées par les arbres à feuilles caduques, indiquant une alternance de saisons froides et de saisons chaudes. Toutefois les camphriers vivent encore par 51° de latitude et les palmiers par 50° ; la flore demeure identique à elle-même du 38e au 54e degré, de la Serbie à la Finlande.

La chaîne alp-himalayenne a maintenant acquis de grandes altitudes ; nous sommes à l'époque oligocène. En raison de la présence des grands massifs de condensation, l'été est pluvieux, mais l'hiver demeure encore tiède ; sur les bords du lac de Constance règne le climat de Madère et du sud de Japon ; la température moyenne des côtes de la mer d'Okhotsk est d'environ 19°. Mais la période d'érosion et de tassement est arrivée pour les chaînes nouvelles de montagnes. Des pluies torrentielles, provoquées par leur altitude même, ravagent leurs flancs, des

vallées profondes s'y creusent et les glaciers prennent une extension énorme.

Nous touchons au début de la période quaternaire qui vit la prise de possession du sol par l'Homme. Durant cette période, en dehors des dénivellations résultant de la formation des chaînes de montagnes, il semble bien que des aires étendues, faisant partie des grands continents, aient éprouvé des alternatives d'exhaussement et d'affaissement, constituant ce qu'on a appelé des *mouvements épirogéniques*. Pendant les périodes de surrection, les glaciers formés dans les vallées des hautes chaînes s'étendaient au loin, pour régresser durant les périodes d'affaissement. Le climat se refroidissait naturellement dans le voisinage des glaciers, mais il gardait sa douceur dans les régions qui en étaient éloignées.

Ces périodes d'envahissement et de retrait des glaciers ont reçu le nom de périodes glaciaires et interglaciaires ; elles ont servi à jalonner l'histoire de l'Homme. A ce moment la mer Égée entre en communication avec la mer Noire. Après une première baisse de température au pliocène, le climat devient moins rigoureux : des hippopotames, des rhinocéros, des éléphants, des lions, des hyènes, tous animaux relégués aujourd'hui au voisinage des régions tropicales, abondent dans le midi de la France ; mais les glaciers gagnent de plus en plus (âge munstérien) ; ils arrivent à occuper le septième des continents, soit 20 à 25 millions de kilomètres carrés. Aux États-Unis ils descendent jusqu'au 40e degré de latitude, au voisinage de New-York ; en Europe, ils descendent jusqu'au 50e et couvrent l'Angleterre, l'Allemagne du Nord, la Scandinavie et la Russie jusqu'à Vorona. Le mammouth et le rhinocéros préhistoriques (1), dont les descendants actuels sont presque nus, sont, au contraire, couverts de poils laineux. Au moment où les glaces reculent,

(1) Pléistocène moyen ou magdalénien.

auprès des glaciers vivent les lemmings et plus au sud le renne, le lièvre des neiges, le renard arctique : c'est la faune des steppes qui s'étend jusqu'aux Pyrénées. Puis la température se réchauffe un peu, et l'air devient plus sec (climat des toundras) : c'est l'âge du renne qui, à l'époque suivante, sera momentanément refoulé vers le nord, pour reparaître à la fin du pléistocène et descendre jusqu'au 43e degré de latitude.

A quoi tiennent ces variations de la température qui amènent ainsi à quatre reprises successives une invasion de glaciers? Quand on ne croyait qu'à une seule époque glaciaire, on invoquait, avec James Croll et Geikie, l'allongement graduel et l'aplatissement de l'orbite terrestre ; mais l'existence de plusieurs périodes glaciaires rend fort imparfaite cette hypothèse, contredite d'ailleurs par le fait que la période glaciaire semble s'être manifestée sur les deux hémisphères simultanément. On a pensé alors à une périodicité correspondant à celle des taches du Soleil; mais la période de ces dernières est bien trop courte. Il est donc probable qu'il s'agit seulement ici de phénomènes locaux.

Les phénomènes locaux n'ont d'ailleurs joué qu'un rôle secondaire, et pendant des périodes relativement courtes de l'histoire de la Terre. Ils sont dominés par deux grands faits : 1° aussi loin que l'observation puisse atteindre, c'est-à-dire pendant une période de près de vingt millions d'années, les calottes polaires ont gardé une température analogue à celle de nos climats méditerranéens ; il a bien fallu pour cela que le soleil les éclairât d'une façon presque permanente; 2° la zone torride, d'autre part, est demeurée sans changement climatérique depuis l'origine de la vie, mais elle s'est graduellement rétrécie et il y a eu un refroidissement très lent, mais continu, des régions polaires dont le climat, devenu rigoureux et glacial, s'est conservé dans nos régions tempérées. Or tout cela ne peut guère s'expliquer qu'en admettant un rétrécissement progressif du disque solaire, et c'est sur ce thème dominant que sont venues se

greffer les conditions secondaires qui ont donné leur variété aux caractères de la période pléistocène.

C'est donc le Soleil qui a dirigé l'évolution du Globe ; il s'est encore montré là le grand artiste qui repétrit sans cesse les êtres vivants et crée pour ainsi dire leurs formes. Sans doute les changements périodiques que nous avons signalés au début de ce chapitre dans les éléments de l'orbite terrestre, dans l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique, ont joué leur rôle et si, à cet égard, une entente s'établissait entre les géologues et les astronomes, peut-être pourrait-on trouver, dans la discussion approfondie des éléments recueillis par les uns et par les autres, le moyen d'expliquer les principaux événements géologiques et d'en fixer la date évaluée en années. Mais les calculs des astronomes eux-mêmes ne tiennent pas compte de toutes les données du problème ; ils ont surtout étudié les conséquences de celles de ces données qui, supposant les astres immuables, sont relatives aux actions qu'ils exercent les uns sur les autres. Tout ce qui est relatif aux modifications de forme et de constitution du Globe terrestre, qui, en raison de sa petitesse, ont dû cependant être plus considérables que celles du Soleil, échappe à leurs calculs. Elles ont pu intervenir pour augmenter l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique ou l'amener à lui être perpendiculaire, sans changer les positions géographiques des pôles, et cela aurait suffi pour modifier complètement le cours des saisons ou même les faire disparaître ; elles ont pu également modifier la position géographique des pôles, sans rien ajouter aux modifications périodiques d'inclinaison de l'axe de rotation sur l'écliptique. Mais c'est seulement quand on aura constaté l'insuffisance des explications tirées des calculs astronomiques que ces données nouvelles pourront être examinées avec fruit (1).

(1) Cf., sur les questions de climat, le 2e volume de l'*Évolution de l'Humanité*.

DEUXIÈME PARTIE

LES FORMES PRIMITIVES DE LA VIE

CHAPITRE PREMIER

L'APPARITION DE LA VIE

De tous les problèmes qui se sont posés à l'esprit des hommes, le plus troublant est celui de la naissance de la vie, problème qui contient, en fait, celui de l'origine de l'Humanité. Alors que la science n'existait pas encore, les esprits les plus hardis de tous les temps ont cherché à en donner une solution, parce que les productions de la vie, parmi lesquelles nous occupons la place la plus éminente, nous pressent de toutes parts d'une façon plus constante que les phénomènes météorologiques eux-mêmes. C'est parmi d'immenses forêts que nos ancêtres avaient à se mouvoir, et ils y rencontraient des adversaires puissants contre lesquels ils ne cessaient de se mesurer; c'est aux êtres vivants qui les entouraient qu'ils devaient demander tout ce qui était nécessaire à l'entretien de leur existence; c'est sur eux qu'ils devaient le plus souvent le conquérir par la force, et c'est contre eux également qu'ils devaient défendre leur propre vie. Aussi longtemps qu'on attribua aux démiurges une figure humaine, on en fit les créateurs de tout ce qui existe : créateurs des plantes ou des animaux tels que nous les voyons autour de nous, créateurs de germes destinés à évoluer et dont

l'idée pouvait être puisée dans l'observation journalière de la germination des graines, de l'éclosion des œufs, peu importe. Plus tard on imagina que les forces naturelles étaient à elles-seules capables de donner naissance à un germe, ou même que certaines substances, sous l'action des rayons du Soleil, au cours des fermentations, soit dans les profondeurs secrètes de l'Océan, soit dans le sein de la Terre, en qui l'on a vu souvent la grande génératrice, étaient capables de s'organiser; c'est la doctrine des générations spontanées, à laquelle Joly, Archimède Pouchet et Musset essayèrent de donner une forme scientifique, doctrine qu'Aristote avait déjà exposée, que Lamarck avait acceptée, et qui, soutenue contre Pasteur par des savants tels que Musset, Joly et Pouchet, choyée par les médecins, prônée par les philosophes matérialistes, avait fini par prendre au siècle dernier une allure quasi scientifique.

Il faut bien reconnaître que, si les admirables recherches expérimentales de Pasteur ouvraient à la médecine et à la chirurgie des horizons imprévus, donnaient à l'art de guérir des précisions et des méthodes d'une inépuisable fécondité, elles jetaient dans un trouble profond toute la philosophie scientifique. Celle-ci était pénétrée de l'idée fort juste que chaque phénomène a des causes prochaines qui en déterminent sûrement et incontestablement la production. Claude Bernard avait introduit dans la physiologie la notion du *déterminisme* des phénomènes vitaux et écrasé l'ancienne doctrine du *vitalisme*, qui soustrayait ces phénomènes aux lois ordinaires des phénomènes physico-chimiques. Le vitalisme disparu, le domaine de la vie devait être fatalement annexé à celui des forces banales qui déterminent ces derniers. On devait admettre, naturellement, que la matière vivante, faite de carbone, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et de traces de divers autres corps simples, avait pu naître et pouvait être reconstituée comme les autres composés chimiques plus simples. Huxley avait même cru à l'existence d'une substance

unique, *base physique de la vie*, à laquelle il avait donné le nom de *protoplasme* — qui est demeuré malgré tout. Le rêveur allemand Oken, fondateur d'une prétendue *Philosophie de la Nature* qui fit grand bruit au delà du Rhin, au commencement du XIXe siècle, avait déjà imaginé une *gelée primitive* qui aurait engendré tous les êtres vivants; un moment, Huxley avait pensé la découvrir dans la vase des abîmes océaniques; il lui avait donné le nom de *Bathybius Hœckeli* et, malgré l'abandon ultérieur d'Huxley, le naturaliste impénitent d'Iéna défendit encore l'existence réelle de son filleul (1) — reconnu par Huxley lui-même pour n'être qu'un simple précipité minéral, d'aspect gélatineux, qui se produit quand on verse de l'alcool pur dans de l'eau de mer tenant en dissolution des matières organiques.

Si le protoplasme existait vraiment, s'il n'était qu'un composé chimique plus complexe que les autres et jouissant, en raison de sa complexité même, de propriétés particulières, on pouvait espérer l'obtenir artificiellement par des procédés chimiques appropriés. Les insuccès de la chimie dans ses essais pour réaliser même une substance azotée telle que l'albumine, le simple blanc d'œuf, inerte cependant, pouvaient n'être que temporaires. Berthelot n'avait-il pas réussi à combiner directement le carbone à l'hydrogène et à l'azote; n'avait-il pas réussi à faire la synthèse des sucres, et avant lui, autour de lui, après lui, les chimistes n'avaient-ils pas réussi à fabriquer une infinité de substances que l'on croyait être autrefois l'œuvre exclusive et réservée de la vie? Une fois bien connue la constitution des substances azotées analogues à l'albumine, et les plus habiles chimistes s'y essayaient, n'avait-on pas toutes les chances possibles pour arriver à la reconstruire; et si le protoplasme n'était, en somme, que l'une d'elles, douée d'une instabilité et d'une puissance de reconstitution particulières, était-il téméraire de

(1) XV, 165.

penser qu'il sortirait un jour vivant des cornues ou des ballons à réactions des chimistes? Sans doute il en sortirait amorphe, en masse indéfinie, mais ne pourrait-on pas lui donner la forme et l'activité reproductrice qui font un être vivant?... Les expériences de Pasteur semblaient détruire tout ce beau rêve, et si le libre jeu des forces et des substances était impuissant à produire la substance vivante, s'il fallait avoir recours pour sa formation à un acte direct de création, pourquoi ne pas admettre, comme le voulait Cuvier, la création directe de tous les êtres vivants et, par conséquent, la fixité des espèces ? Accepter l'inanité des générations spontanées, c'était préparer l'écroulement de toute la doctrine de l'évolution, si satisfaisante pour l'esprit et appuyée d'ailleurs sur tant de faits.

Dans l'impossibilité où l'on se trouvait, et qui paraissait invincible, de reconstituer la substance vivante, on a songé de bonne heure à la faire venir d'ailleurs. En 1821, M. de Montlivault pensait que des germes issus d'autres planètes, peut-être de plus loin, avaient été apportés sur la terre — on ne sait comment, car il n'y a pas de vents dans les espaces interplanétaires pour entraîner de la poussière. Ces germes s'étaient développés sur notre sol et avaient fourni les premiers êtres vivants. En 1853 l'hypothèse de M. de Montlivault fut reprise et développée par le comte de Keyserling. La vie, disait-il, est éternelle comme le monde; mais au cours des âges, elle change de place. Des germes voyagent incessamment d'un système stellaire à un autre, fécondent les astres prêts à les recevoir, raniment la vie là où quelque catastrophe prématurée l'avait éteinte, l'enrichissent là où elle existait déjà, apportant avec eux plus de variété. Ainsi, sur la terre, les faunes éteintes à la fin d'une période géologique ont été remplacées par des faunes nouvelles au début de la période suivante, et le phénomène s'est répété un nombre très grand de fois. Il fallait, cependant, nous l'avons dit, trouver pour ces germes un moyen de locomotion. En 1865, le comte de Salles-Guyon pense

qu'ils nous arrivent inclus dans les météorites ou pierres tombées du ciel; mais c'est supposer qu'ils viennent d'une planète brisée à qui il faudrait attribuer une très grande richesse de vie. Richter et Cohn préfèrent s'adresser aux poussières cosmiques ou aux comètes qui parcourent de vastes espaces, semant la vie sur leur passage. Les grands physiciens Helmholtz et lord Kelvin se rangent à cette hypothèse, ainsi que le chef de la botanique française, Philippe Van Tieghem (1). Les germes ne viennent pas seulement des planètes; ils peuvent aussi venir des étoiles, et dès lors il faudrait les considérer comme incombustibles. En 1872, Preyer n'hésite pas à leur attribuer cette merveilleuse propriété. Il appelle *pyrozoaires* les animaux nés de ces germes qui résistent au feu. Chose bien étrange! le grand physicien Arrhenius accepte l'idée de l'ensemencement des astres, par des *spores*, analogues à ces éléments reproducteurs des algues et des champignons, qui opposent au froid des abîmes une étonnante résistance. Ces germes infiniment petits seraient lancés dans l'espace par les forces répulsives qui émanent des astres et qui projettent une telle quantité de poussières extrêmement fines autour du Soleil, qu'elles constituent ce qu'on appelle sa couronne, bien visible durant les éclipses totales. Il peut exister des germes de ce degré de petitesse, puisque plusieurs microbes passent au travers de la porcelaine et sont invisibles à l'ultra-microscope. Mais M. Paul Becquerel a montré (2) que certains rayons ultra-violets les tuent; le froid augmente, il est vrai, leur résistance; mais la mort n'en survient pas moins finalement. Cette constatation ruine l'hypothèse de l'ensemencement, à moins d'admettre que les germes venus des étoiles sont d'une essence particulière. Mais elle était auparavant ruinée par elle-même. Elle ne résout, en effet, aucune question. D'où que viennent les germes de vie, il faut expliquer comment ils ont pris naissance ailleurs que sur la Terre; on ne fait que reculer la difficulté.

(1) XIII, 982. — (2) XVII.

D'ailleurs les germes vivants sont tous constitués par des atomes de même nature : carbone, hydrogène, azote, oxygène tout au moins. Ces éléments existent sur la Terre, comme sur les autres planètes qui ont traversé, traversent ou traverseront les mêmes phases d'évolution; pourquoi ces éléments chimiques se seraient-ils combinés hors de la Terre et seraient-ils demeurés séparés sur notre sol? Ce serait contraire à ce principe fondamental de toute science, que les mêmes causes produisent partout les mêmes effets. Si, à une phase quelconque de l'évolution des planètes, quoi que ce soit de vivant a pu se constituer à leur surface, la Terre n'a pas fait exception. Il nous faut donc courageusement rechercher comment la vie, qui ne se propage actuellement que du vivant au vivant, a pu prendre, à un certain moment, naissance sur notre Globe; et, avant d'entreprendre cette recherche, il convient de déterminer d'abord en quoi consiste la substance vivante.

Cette substance n'est pas quelque chose de spécial où la vie résiderait et qui en serait l'unique et nécessaire substratum, quelque chose comme un composé chimique essentiellement instable et en perpétuelle rénovation. C'est un assemblage de composés chimiques que des réactifs délicats permettent, même à l'état de vie, de distinguer les uns des autres et de caractériser nettement. Parmi eux, le premier rang est occupé par des composés que leur ressemblance de constitution avec le blanc d'œuf a fait appeler *composés albuminoïdes*. Ils sont formés de carbone, d'hydrogène, d'azote, d'oxygène et d'une petite quantité d'un cinquième corps : soufre, phosphore ou autre. A ces composés, dits quaternaires, sont associés, en plus ou moins grande quantité, des *composés ternaires*, qui ne sont formés que de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Dans certains d'entre eux, il y a plus d'hydrogène qu'il n'en faudrait pour former de l'eau en se combinant avec l'oxygène; la composition des autres est telle qu'on peut les considérer comme formés par du carbon uni à de l'eau; ce sont, comme on idt, des *hydrates de car-*

bone : les premiers appartiennent à la catégorie des *graisses*; aux hydrates de carbone se rattachent les sucres, la dextrine, l'amidon, la cellulose, etc. Mais aucune de ces substances n'a une constitution simple. La molécule CH^2O, qui représente l'hydrate de carbone le moins complexe, s'unit à elle-même un grand nombre de fois dans les hydrates de carbone organiques, de sorte que leur formule est $(CH^2O)^n \pm pH^2O$; c'est ainsi que le glucose a pour formule : $C^6H^{12}O^6$; les amidons et les celluloses : $C^5H^{10}O^5$; le sucre de canne : $C^6H^{20}O^{10} + H^2O$.

Les graisses sont plus compliquées; la tristéarine, par exemple, est représentée par la formule :

$$C^2H^5(C^{18}H^{35}O^2)^3 = C^{57}H^{110}O^6.$$

Mais le maximum de complication est atteint par les substances albuminoïdes; celle qui forme la partie constituante essentielle des globules du sang du chien a pour formule :

$$C^{726}H^{1171}O^{214}Az^{191}S^3.$$

Les chiffres qui, dans ces formules, sont placés en exposants, indiquent le nombre d'atomes de charbon, d'hydrogène, d'oxygène, d'azote, de soufre qui entrent dans la constitution de ces corps, par conséquent :

Une molécule	de glucose	contient	24 atomes.
—	de tristéarine	—	153 —
—	d'albumine	—	2305 —

Une molécule d'albumine est donc un édifice près de 100 fois plus élevé qu'une molécule de glucose, et plus de 13 fois aussi complexe qu'une molécule de graisse. C'est un véritable château de cartes, ou encore une de ces tours fragiles que les enfants construisent avec des dominos et que le moindre choc suffit à faire écrouler. Or, si petite qu'elle soit, une masse de substance vivante contient un certain nombre de ces molécules et aussi des sucres, des amidons, des graisses qui peut-être pourraient demeurer côte à côte, sans altération, si elles n'étaient

exposées aux attaques de l'oxygène de l'air, le corps agressif par excellence, et si elles n'étaient mélangées à d'autres substances, elles aussi fort actives, qu'on appelle *ferments solubles, diastases* ou *enzymes*.

Ces ferments sont des composés chimiques que l'on peut dissoudre, précipiter de leurs dissolutions, redissoudre; ils passent lentement au travers des filtres, ne se nourrissent pas, ne sont par conséquent pas vivants, bien qu'ils perdent toute action quand on les chauffe au delà de 100°; ils semblent alors mourir. Ils jouissent de la propriété de faire subir à certaines substances organiques, les hydrates de carbone, les graisses, les substances albuminoïdes notamment, des transformations profondes, en ne subissant eux-mêmes que des transformations si faibles qu'on a même pu croire qu'ils ne se modifiaient pas du tout en agissant; leur action est, en tout cas, hors de proportion avec la quantité de leur substance qui s'altère et avec l'énorme quantité de substances qu'ils transforment. Il y en a une infinité, agissant respectivement sur les hydrates de carbone (*diastases*), sur les graisses (*lipases*), ou sur les substances albuminoïdes; chacune a son mode d'action particulier, et ces actions consistent en dédoublements, hydratations, déshydratations, oxydations, réductions, coagulations, décoagulations; elles sont simples mais suffisent à disloquer, transformer, simplifier des substances organiques complexes. Chaque ferment a souvent son antagoniste défaisant ce qu'il a fait; certains ne peuvent agir qu'aidés par d'autres qui viennent à leur secours; parfois ils ont une action réversible et sont capables de recomposer, dans certaines circonstances, les corps qu'ils ont détruits (1). Ils sont souvent déversés dans l'organisme par des glandes en dehors desquelles ils agissent; mais ils sont aussi mélangés aux autres substances associées pour former un corps, un élément vivant, et, par leur présence, suffisent à mettre en action toutes

(1) I, 664.

ces substances qui sans eux demeureraient inertes. Grâce à eux, en présence de l'oxygène de l'air, et de l'eau qui les imprègne, les substances organiques associées sont en voie perpétuelle d'échanges ou de modifications réciproques. Les grosses molécules organiques s'écroulent, pour ainsi dire, sur les autres, mais la caractéristique de la vie, c'est qu'en s'écroulant, les substances les plus complexes désagrègent des substances plus simples, s'annexent les débris résultant de cette désagrégation, si bien que cette opération incessante se solde par un accroissement de la quantité du mélange mis en action. Cet accroissement s'appelle la *nutrition* et il a pour conséquence la *reproduction*.

La vie ainsi comprise n'est donc plus l'œuvre d'une seule substance ; elle résulte des réactions réciproques d'un certain nombre de substances déterminées. Ces substances ne sont d'ailleurs pas quelconques ; elles se répartissent en un nombre relativement petit de groupes qui semblent avoir, dans tous les êtres vivants, une même structure chimique fondamentale, mais diffèrent par les détails de cette structure. La substance fondamentale des globules du sang, la matière verte des végétaux, la chromatine, qui joue un rôle prépondérant dans la nutrition des éléments anatomiques, les pigments, etc., ont ainsi une composition qui varie d'une espèce, parfois, comme M. Armand Gautier l'a montré pour les pigments de la vigne et pour les diverses sortes de cachou, d'une variété à l'autre, tout en se rattachant au même type chimique.

Le problème de la création de la vie ne consiste plus à préparer une substance spéciale qui serait « la base physique de la vie », comme le pensait Huxley, mais à rechercher des procédés de synthèse qui permettent de réaliser et de grouper les substances banales, inertes par elles-mêmes, que sont les hydrates de carbone, les graisses, les albuminoïdes, les ferments. Le développement pris par la chimie organique, qui a reproduit artificiellement toutes les substances qu'on croyait

être l'œuvre exclusive de la vie, la synthèse des sucres réalisée, à partir des éléments : hydrogène, oxygène, carbone, par Marcellin Berthelot, donnent confiance que le problème n'est pas insoluble, et si les albuminoïdes résistent encore, on peut prédire que leur résistance ne sera pas de longue durée; mais il restera un problème plus délicat à résoudre, celui de doser les mélanges de substances qui doivent être associées pour donner naissance à la vie et la maintenir. L'œuvre est ici particulièrement difficile, parce que nous ne possédons aucune donnée précise sur la constitution de ces mélanges où des traces infinitésimales de certains corps peuvent tout changer. Mais ce que nous ne savons pas faire a pu se faire spontanément à l'origine des choses. Si nous supposons que les composés aptes à produire de la vie par leur mélange se sont, à un certain moment, formés sous des actions à déterminer, ils ont dû se rencontrer, se mélanger en toutes proportions; les mélanges les plus complexes ont dû se produire aussi bien que les plus simples. Ceux qui ont réalisé cette condition que les réactions réciproques des substances accidentellement rapprochées aient abouti à un accroissement de la quantité du mélange qu'elles formaient, ont constitué les premières masses vivantes, et on peut admettre que ces masses étaient d'abord totalement amorphes et sans limite dans leurs dimensions.

Or, il existe une substance albuminoïde qui, mélangée à d'autres substances albuminoïdes, jouit de la propriété de fabriquer, avec l'anhydride carbonique de l'air et de la vapeur d'eau, des hydrates de carbone, qui sont les aliments primitifs par excellence; cette substance est la *chlorophylle*, la matière colorante verte des plantes. Les hydrates de carbone une fois constitués, les substances albuminoïdes déjà existantes et les ferments qui les accompagnent usent de ces hydrates de carbone pour faire de nouvelles quantités de substances albuminoïdes, y compris de la chlorophylle. Grâce à la chlorophylle, la vie va donc pouvoir se perpétuer et nous sommes ainsi

conduits à penser que les premières masses vivantes étaient vertes, et seraient classées, par conséquent, si elles existaient encore, dans le règne végétal.

La vapeur d'eau, l'acide carbonique venant de l'air, ne pouvant pénétrer dans le mélange vivant que par sa surface, il y a tout avantage à ce que celle-ci se développe le plus possible, résultat qui peut être atteint, dans les conditions les plus satisfaisantes, par la pulvérisation de la masse initiale en petites sphérules, en grains microscopiques, tels que ceux que forme sur le tronc humide des arbres le *Protococcus viridis*. Ces grains, quand ils ont atteint une certaine taille, se multiplient par bipartition; c'est l'origine de la constitution cellulaire des êtres vivants. Qu'une forme pulvérulente, analogue à celle des *Protococcus*, soit le résultat des avantages qu'elle présente au point de vue de la nutrition, on est autorisé à le conclure du fait que certains organismes, comme le champignon de la tannée (*Fuligo septicum*), qui se nourrissent, non par leur surface, mais en introduisant dans leur substance même les particules alimentaires destinées à être digérées, peuvent former des masses gélatineuses de deux à trois décimètres de diamètre et de deux à trois centimètres d'épaisseur, susceptibles de se déplacer en rampant.

Dejà sous cette forme, il ne serait pas impossible que le règne animal et le règne végétal aient commencé à se différencier l'un de l'autre. La matière verte des plantes, la chlorophylle, ne peut combiner l'anhydride carbonique et la vapeur d'eau atmosphériques, avec élimination d'oxygène, que sous l'action des rayons solaires. C'est donc seulement à sa surface libre et éclairée, qu'une masse vivante est capable d'accomplir cette opération; mais rien n'empêche les hydrates de carbone solubles de pénétrer la masse tout entière, s'ils sont formés en quantité suffisante, et la nutrition dont ils sont la base de se poursuivre, par conséquent, loin de la surface et sans lumière, sans matière verte; c'est le commencement du

mode de nutrition des animaux. L'hypothèse d'Oken d'une gelée primitive (*Urschleim*) d'où tous les animaux et les plantes seraient issus n'est donc pas insoutenable. Toutefois, les êtres réduits à l'état de simple gelée sont si exceptionnels que, selon toute probabilité, c'est après la réalisation de la forme pulvérulente que la séparation des deux règnes s'est opérée par un procédé analogue à celui que nous venons de décrire.

La multiplication sur place, par division, de ces grains verts, enveloppés chacun d'une membrane constituée par un exsudat des hydrates de carbone non utilisés pour la nutrition, a dû suffire pour assurer la formation d'une couche épaisse de poussière végétale que la lumière solaire a fini par ne pouvoir traverser ; la multiplication des grains de poussière végétale n'en a pas moins continué parce que la nutrition ne s'est pas interrompue. Or la chlorophylle ne se forme que sous l'influence des radiations obscures (1) ou lumineuses qui constituent le spectre solaire. Ces rayons sont arrêtés dès que la masse pulvérulente a atteint une épaisseur suffisante ; mais cela n'empêche pas les hydrates de carbone solubles qui peuvent être en excès de descendre, entraînés par la rosée, par exemple, dans les couches profondes ; s'ils sont en quantité suffisante, les grains demeurés dans l'obscurité continueront à s'envelopper de cellulose et à se nourrir par absorption de matières dissoutes, mais ne formeront plus de chlorophylle ; ces végétaux sans chlorophylle sont ce que nous appelons des champignons. Au-dessous d'eux, dans notre couche hypothétique de grains vivants, les hydrates de carbone ne pénètrent plus en quantité suffisante pour ne pas être entièrement absorbés par la nutrition ; les grains ne forment plus d'exsudat de cellulose ; la gelée vivante demeure libre, *mobile* comme celle qui constitue le champi-

(1) Sa formation peut être réalisée par les seuls rayons infra-rouges chez diverses espèces d'algues microscopiques (*Chlorella, Diclyosphœrium*, *Hormococcus*, *Pleurococcus*, etc.), les fougères, certaines conifères, certaines plantes bulbeuses, telles que l'oignon, ou parasites, comme le gui.

gnon de la tannée; elle traduit par des mouvements visibles les excitations qu'elle subit; elle paraît, en conséquence, *sensible*. La mobilité et la sensibilité caractérisent le règne animal que nous voyons ainsi apparaître comme une dégradation des végétaux primitifs, auxquels le relient les formes mixtes des champignons. La mobilité et la sensibilité ont permis aux animaux de prendre leur revanche dans une autre voie et de s'élever aux plus hautes manifestations de la vie.

Ainsi, le seul exercice de la nutrition a suffi pour décomposer notre couche hypothétique de grains vivants en trois strates : un strate vert correspondant aux algues, un strate incolore, mais à grains emprisonnés dans la cellulose, correspondant aux champignons, un strate à grains nus correspondant aux animaux.

Nos connaissances actuelles permettent donc de concevoir logiquement les conditions d'apparition de la vie ainsi que la formation du règne végétal et du règne animal, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir autre chose que des phénomènes d'ordre purement chimique ou physique, rien qu'en faisant appel à des considérations fort simples, qui paraissent même à quelques-uns trop simples; mais les lois naturelles sont toujours simples, et c'est seulement notre esprit qui aime à s'entourer de complication et de mystère !

On se demandera sans doute pourquoi les éléments qui ne forment pas de chlorophylle sans lumière, ne reprennent pas la faculté d'en former quand on les replace à la lumière; mais c'est une règle générale, qu'une fonction qui n'est pas exercée disparaît; et la faculté de produire de la chlorophylle peut disparaître même chez des plantes supérieures parasites, comme les *Monotropa*, les Orobanches, les Orchidées du genre *Neottia*, et elle fait défaut aux racines souterraines des plantes ordinaires.

Reste une question particulièrement angoissante. Pourquoi, si la vie a pu apparaître sur la Terre, comme nous venons de

l'indiquer, ne se forme-t-il plus de substance vivante? Les conditions dans lesquelles la vie se maintient actuellement sur la Terre semblent indiquer la voie dans laquelle on peut espérer rencontrer une réponse à cette question. Les animaux herbivores tirent exclusivement leur nourriture des végétaux; les carnivores vivent de la chair des herbivores; eux aussi sont donc exclusivement nourris par les plantes; les champignons sont de même rivés à des plantes dont ils sont parasites, soit directement, soit par l'intermédiaire des animaux. Les végétaux verts sont donc les grands pourvoyeurs d'aliments des autres êtres vivants; eux-mêmes tirent leurs aliments minéraux et azotés du sol, et les hydrates de carbone, indispensables, de l'atmosphère, mais ils ne peuvent le faire que grâce aux radiations solaires. C'est donc, en définitive, le Soleil, et lui seulement, qui entretient la vie à la surface du Globe. S'il en est ainsi, et on ne saurait le contester, on est naturellement conduit à se demander si ce n'est pas également lui qui l'a fait naître; si certaines de ses radiations ne sont pas capables, et surtout n'ont pas été capables, de produire directement les combinaisons qui entrent dans la constitution des substances vivantes. Mais voici que MM. Daniel Berthelot et Gaudechon ont obtenu la synthèse des hydrates de carbone par l'action réciproque de l'anhydride carbonique et de l'eau, en l'absence de toute chlorophylle, sous la seule influence des rayons ultra-violets émanant d'un tube à vapeur de mercure. Les mêmes rayons leur ont permis d'obtenir l'amide formique, par leur action sur un mélange d'anhydride carbonique et de gaz ammoniac. L'amide formique est la plus simple des substances quaternaires, dont les substances albuminoïdes sont le terme le plus compliqué, et dont le mélange constitue le protoplasma pour qui les hydrates de carbone sont un aliment; nous sommes donc sur le chemin qui doit aboutir à la vie. En tout cas il est établi que si certains rayons ultra-violets tuent les spores, d'autres sont capables, par leur seule puissance, d'effectuer

des combinaisons que l'on a cru longtemps possibles seulement quand il se trouvaient déjà en présence de certaines substances organiques, et ce sont justement les rayons pour qui notre atmosphère est transparente (1).

M. Daniel Berthelot, après avoir exposé ces résultats, ajoute : « La raison profonde de l'efficacité des rayons ultra-violets paraît être leur température extrêmement élevée. Plus la température d'une source s'élève, plus elle s'enrichit en rayons ultra-violets. Et lorsqu'on projette l'image de l'arc à mercure sur celle du disque solaire, on reconnaît, par le phénomène physique du renversement des raies, que la température de cet arc est plus élevée que celle du Soleil. » Or il est certain que la région du spectre solaire qu'ils constituent aujourd'hui a été autrefois beaucoup plus étendue. Le Soleil appartient, en effet, à la classe des étoiles jaunes : *Arcturus*, α_2 du Centaure, la Polaire, etc. Parmi elles il est déjà plus froid que Procyon et Canopus qui sont aussi des étoiles jaunes, mais il a été nécessairement, à une époque lointaine, beaucoup plus chaud qu'aujourd'hui, et nous pouvons reconstituer les états qu'il a traversés par l'étude des étoiles blanches et des étoiles bleuâtres qui sont de beaucoup les plus chaudes. Parmi les étoiles blanches, il en est, comme la plupart des étoiles d'Orion et des Pléiades, Regulus, β du Centaure, Deneb, etc., qui sont manifestement le siège de décharges électriques se produisant dans des conditions toutes spéciales ; d'autres sont remarquables par l'abondance de l'hélium et de l'hydrogène dans leur atmosphère, signes d'une radio-activité puissante ; les étoiles blanc bleuâtre sont plus chaudes encore : leur spectre ultra-violet est très étendu ; il contient des radiations particulièrement intenses d'origine inconnue, et la présence de l'hélium dans leur atmosphère implique qu'elles sont aussi le siège de phénomènes importants de radio-activité (2).

(1) **XVIII.** — (2) **XIX**, 306.

Au moment où le Soleil traversait ces divers stades, le actions chimiques se produisant sur la Terre, sous son influence, devaient être plus nombreuses et notablement plus puissantes qu'elles ne le sont aujourd'hui; les radiations ultra-violettes étaient plus étendues que celles de nos lampes à vapeur de mercure; les combinaisons chimiques qu'elles étaient aptes à déterminer devaient être plus variées que celles que nous savons actuellement réaliser, condition nécessaire pour que la vie apparaisse. Des radiations ultra-violettes venues du Soleil et capables de traverser notre atmosphère pouvaient alors faire ce que celles que nous en recevons aujourd'hui ne sont plus capables de produire à elles seules. Ainsi s'expliquerait la suppression actuelle des générations spontanées. D'autre part, la Terre elle-même était à cette époque lointaine à une phase différente; elle possédait une radio-activité plus grande; son atmosphère contenait de l'hydrogène, de l'hélium et peut-être d'autres éléments, résultant de la désagrégation de divers corps simples, à cet état particulier que les chimistes désignent sous le nom d'état naissant et où leurs affinités sont exaltées; autre raison pour que les combinaisons, aujourd'hui impossibles, aient alors pu se produire. Des substances quaternaires plus complexes que l'amide formique, de vraies substances albuminoïdes, ont pu prendre naissance. Or la plus simple d'entre elles ayant été obtenue, la formation des autres est un phénomène d'ordre purement chimique. Les recherches de P. Schützenberger, A. Kossel, E. Fischer, L.-C. Maillard et autres, sur la constitution des substances albuminoïdes, facteurs essentiels de la vie chimique, tout au moins, ont vivement éclairé la constitution des substances quaternaires. Dans cette constitution une part prépondérante revient aux acides aminés, constitués par un facteur acide résultant de l'union de l'oxygène au carbone (COOH), et d'un facteur basique, résultant de l'union de l'hydrogène à l'azote (AzH^2). Ces deux facteurs sont unis dans une même molécule, sans cependant que de cette

union résulte la neutralisation de leurs fonctions respectives. Il s'ensuit que le facteur acide de la molécule continue à « capter les matériaux basiques qui passent à sa portée, et le facteur basique les matériaux acides » (1). Lorsque les matériaux basiques sont empruntés à un autre acide aminé, il se produit, par l'élimination d'une molécule d'eau, un corps nouveau qui se constitue de manière à régénérer, aux dépens des matériaux annexés, la fonction acide du corps primitif; et de même pour la fonction basique, lorsque c'est celle-ci qui est entrée en ligne dans l'élimination de la molécule d'eau. Il en résulte que par ce double jeu on peut obtenir des composés d'un degré quelconque de complication, et l'on conçoit que l'espérance ait pu naître d'arriver à réaliser les énormes et fragiles molécules dont les réactions réciproques donnent lieu au phénomène chimique de la vie. Déjà, dans l'école de Fischer, ont été obtenues des substances analogues aux peptones en lesquelles se résolvent en premier lieu, lors de la digestion stomacale, les substances albuminoïdes alimentaires. A l'aide de ces *peptides*, il faudrait arriver à reconstituer les substances d'où proviennent les peptones et réaliser ces peptides eux-mêmes par des voies plus semblables à celle qu'emploient les êtres vivants. C'est à quoi se sont essayés d'autres chimistes : Balbiano, Trasciatti en Italie, M. Maillard en France. Or M. Maillard, par une réaction convenablement conduite de la glycérine pure et des acides aminés, est arrivé à obtenir des corps qui ressemblent singulièrement aux peptones, à la caséine, aux matières kératiniques qui sont des substances albuminoïdes par excellence. Il est probable qu'en substituant à la glycérine des sucres et des alcools, on obtiendrait d'autres résultats aussi importants. Il faut, il est vrai, faire intervenir ici des températures de 170° à 180°, c'est-à-dire accélérer les réactions,

(1) L.-C. Maillard, Recherche du mécanisme naturel des formations albuminoïdes. — *Presse médicale*, 17 février 1912.

mais celles-ci peuvent être obtenues à des températures plus basses en employant d'autres accélérateurs. Les diastases, qui sont aussi des albuminoïdes de nature encore mal déterminée, et agissent surtout, comme on sait, par hydratation et déshydratation, paraissent pouvoir jouer ce rôle. Et s'il est vrai que toutes ces substances aient pu être obtenues isolément par la seule action de radiations diverses émanées du Soleil ou des corps radio-actifs, on arrive à comprendre que certains de leurs mélanges aient pu constituer les premières substances vivantes.

L'apparition de la vie rentre donc, comme la physiologie tout entière, dans le domaine des forces physico-chimiques; elle se serait produite durant un état de choses que nous pouvons reconstituer aujourd'hui par la pensée, qui persiste sans doute dans certains systèmes stellaires, mais qui a disparu sans retour du système solaire. La faculté de donner naissance à de la matière vivante a été peu à peu réservée aux êtres vivants, à mesure que les radiations solaires et la radio-activité de la Terre s'affaiblissaient, mais *n'a pas* été toujours leur privilège exclusif. L'astronomie physique, en nous montrant dans les étoiles qui ne sont ni du même âge, ni de la même grosseur, les étapes de cet affaiblissement, met les conclusions des expériences de Pasteur en harmonie avec la raison, et rend inutiles les hypothèses hardies, mais contraires à l'esprit scientifique, de l'ensemencement de la Terre par des germes venus d'ailleurs et dont le mode de formation serait inconnu.

Sous quelle forme les premiers êtres vivants se sont-ils manifestés? Les premiers fossiles que nous connaissions datent d'une époque trop postérieure à l'apparition de la vie sur la Terre, trop de formes se sont évanouies dans le métamorphisme des terrains archéens pour que la paléontologie puisse nous renseigner à cet égard; mais les liens qui unissent entre elles les formes vivantes actuelles sont tels, qu'on peut les déduire

les unes des autres, comme si elles étaient le résultat d'une évolution naturelle, dont on peut préciser les lois. Ces lois permettent, à leur tour, de reconstituer, avec toute vraisemblance, les étapes que leurs ancêtres inconnus ont parcourues. A partir de l'époque primaire, la paléontologie jalonnera notre route et nous fournira les moyens de contrôler les inductions que nous aurons tirées de l'étude de l'organisation, du développement embryogénique des êtres vivants actuels et des modifications dont ils sont susceptibles. Cette étude fera l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE II

PRINCIPES D'UNE GÉNÉALOGIE EXPLICATIVE DES ORGANISMES

L'un des étonnements les plus profonds que puissent ressentir les naturalistes, c'est que, malgré le nombre considérable de millions d'années qui se sont écoulées depuis l'apparition de la vie sur la Terre, ou même depuis que des organismes de forme déterminée et transmissible de génération en génération s'y sont constitués, il persiste encore aujourd'hui assez de types simples pour donner l'impression que la chaîne des êtres vivants est demeurée complète, à partir de ses débuts. Les chaînes secondaires, à la vérité innombrables, qui se rattachaient à chaque anneau ont disparu, mais en laissant suffisamment intacte la chaîne principale elle-même pour qu'il soit relativement facile de la reconstituer. Les êtres unicellulaires qui semblent, après la « gelée primitive », présenter l'aspect le plus simple sous lequel la vie ait pu se manifester, sont encore innombrables dans le règne végétal comme dans le règne animal. Il y avait, parmi les plus anciens fossiles que nous connaissions, outre des Bactéries, des Globigérines et des Orbulines, semblables à celles qui flottent aujourd'hui partout à la surface des mers les plus éloignées des côtes; des éponges, voisines de ces belles éponges hexactinellides, dont le squelette est une élégante dentelle d'opale, que l'on drague encore sur les côtes du Japon, des Philippines et dans les régions les plus profondes de nos mers; des polypes; des animaux articulés, dont la forme a été conservée, au moins dans ses traits généraux, chez les Limules

des Moluques, du Japon et des Antilles, chez les Esthéries, les Nébalies et les *Cypris* de nos mers ou de nos eaux douces ; des Lingules et d'autres Brachiopodes inarticulés, descendants très modifiés déjà des vers annelés. Il y avait aussi des échinodermes, spéciaux il est vrai, des mollusques à coquille, appartenant déjà aux trois classes actuelles des céphalopodes, des gastéropodes et des lamellibranches, dont les Poulpes, les Escargots et les Huîtres sont les formes les plus connues, très éloignées d'ailleurs de types primitifs, et que nous ne citons ici que pour donner une idée nette de ce que renferment ces classes.

On a objecté cette apparition, en quelque sorte subite, de tant de formes vivantes à l'hypothèse de l'évolution ; et comme, dans la succession des temps, on a de même constaté, à plusieurs reprises, l'apparition brusque, dans une assise géologique, d'une faune et d'une flore renaissant après la disparition tout aussi brusque d'une faune et d'une flore antérieures, conservées dans une assise immédiatement précédente, on avait vu là un argument irrésistible en faveur de l'hypothèse des créations successives, soutenue par les disciples les plus ardents de Cuvier ; Alcide d'Orbigny était allé jusqu'à compter vingt-sept de ces prodigieux phénomènes. Mais il a été possible, dans bien des cas, de démontrer que des assises immédiatement superposées en certaines localités étaient, au contraire, séparées ailleurs par des assises intermédiaires contenant des formes de passage, ou d'établir que l'assise supérieure n'était venue recouvrir l'assise située au-dessous d'elle qu'après une longue période d'émersion où celle-ci avait subi des érosions considérables, et cela détruit l'argument. D'autre part, on a réussi à suivre, au cours des âges, de longs enchaînements de formes manifestement dérivées les unes des autres et qui, considérées isolément, auraient paru constituer des espèces distinctes : c'est le cas pour les Ammonites spirales de la période secondaire, si bien étudiées par Neumayer, Mosjisowicz, Douvillé, Haug, etc. ; pour les Planorbes du lac miocène de Steinheim, dans le Wur-

temberg, les Paludines des grands lacs pliocènes de Slavonie et de beaucoup d'autres formes. On est donc autorisé à penser que, là où nous constatons de brusques remplacements d'une flore ou d'une faune par une autre, c'est qu'en réalité il y a eu une interruption de la sédimentation plus ou moins longue, souvent due à une émersion momentanée, entre les périodes en apparence consécutives, correspondant aux deux faunes et aux deux flores qui ont l'air de se succéder, et nous ignorons quel rôle ont pu jouer, dans les différences que l'on constate entre elles, les transformations sur place et les migrations, bien constatées d'ailleurs, des animaux et des plantes d'une région dans une autre.

Pas plus que sur l'origine de la vie, la paléontologie ne nous renseigne ni sur l'origine des types organiques ni sur les causes qui ont pu les produire; ses documents trop lacunaires ne peuvent servir que de vérification aux lois déduites d'une comparaison rigoureuse des formes vivantes, d'une étude attentive de l'influence que le milieu extérieur peut exercer sur elles, soit quand elles sont adultes, soit au cours de leur développement embryonnaire.

Ces lois ont un caractère aussi impératif, aussi absolu que celles qui régissent les phénomènes physiques ou chimiques. Une fois qu'elles sont établies d'une façon rigoureuse, elles peuvent permettre de reconstituer le passé de chacun des grands groupes d'êtres vivants, de rattacher les phases diverses de ce passé à des causes premières, et d'éliminer les hypothèses oiseuses ou les trompeuses conceptions philosophiques qui ont si longtemps caché sous de faux principes, posés en axiomes, la véritable explication des choses : le principe de continuité de Leibnitz, le *Natura non facit saltus* de Linné, le principe de l'unité de plan d'organisation du règne animal de Geoffroy Saint-Hilaire, celui de l'unité, même limitée à l'étendue des embranchements de Cuvier, l'échelle des êtres de Charles Bonnet, la dégradation des types de Blainville, etc. Ces

conclusions prématurées d'observations trop peu nombreuses, ne pouvaient satisfaire les esprits qu'à une époque où la science se jugeait hors d'état de tenter une explication scientifique des formes vivantes, au sens propre du mot.

L'admirable usage que Darwin (1) a fait de la sélection naturelle et de la sélection sexuelle pour expliquer la conservation, la diffusion, l'exagération peut-être des caractères utiles, l'adaptation des animaux et des plantes à leurs conditions d'existence, si étroite qu'elle a fait naître l'idée de leur prédestination à ces conditions, enfin la fragmentation des séries zoologiques ou botaniques en espèces séparées par des lacunes qui paraissent infranchissables, ne s'étend pas à la détermination des causes de l'apparition de leurs traits distinctifs; Darwin n'a même pas abordé le problème de la raison d'être de ce qu'on peut appeler les *types de structure*, soit dans le règne végétal, soit dans le règne animal. Plus récemment Weismann (2) a fait jouer un rôle mystérieux, dans l'évolution des organismes, à une substance vivante qui constituerait, pour la plus grande part, les éléments génitaux et serait différente de celle qui constitue les éléments du corps; cette substance serait le *germen* ou *plasma germinatif*, seul dépositaire du pouvoir de régler l'évolution des organismes; l'autre, le *soma* ou *plasma formatif*, bien que constituant les éléments du corps tout entier, serait pour le germen une sorte d'abri aménagé pour ses besoins, et le préservant de l'action des milieux extérieurs aux influences desquels il céderait seul. Il est clair qu'une pareille conception est la négation même de toute explication scientifique des formes vivantes, et il est bien étrange qu'on ne se soit pas aperçu que les faits sur lesquels elle reposait, loin de pouvoir servir de point de départ à une théorie générale de l'évolution, étaient le résultat très spécial d'une modification des processus embryogéniques sur le caractère de

(1) XXIV et XXV. — (2) XXVI.

laquelle nous aurons à revenir. Avec plus de raison on a été frappé des importantes modifications que présentent les organismes sous l'influence de nombreuses sécrétions internes ou des certaines substances venues du dehors, telles que les sécrétions de divers parasites (1) ou le venin introduit par la piqûre de quelques insectes (2), et l'on a été conduit à imaginer l'existence de substances particulières, les *hormones* (3), grâce auxquelles les viscères pourraient réagir à distance les uns sur les autres et maintenir ainsi dans l'organisme une solidarité nécessaire; les hormones, les sécrétions parasitaires, seraient les instruments de cette *adaptation réciproque des organismes* dont j'indiquais l'importance et la portée générale en ces termes en 1881 (4) :

« Les causes immédiates de la division du travail physiologique et des modifications qui l'ont accompagnée dans la forme des mérides associés, se trouvent en grande partie, comme pour les plastides, dans la vie sociale elle-même. Toutes les fois que deux ou plusieurs organismes entrent en relations constantes, il en résulte toujours pour chacun d'eux des modifications plus ou moins importantes. »

Nous venons d'écrire les mots *vie sociale* ; nous arrivons ainsi à la question qui domine toute l'évolution des êtres vivants, celle du mécanisme qui, à partir de la poussière vivante à la formation de laquelle nous avons assisté, a présidé à la constitution de la longue série des organismes couronnée par des formes si éloignées du point de départ, soit par leurs dimensions, soit par leur force, soit par la complication de leur structure et la variété de leurs fonctions, soit par leurs manifestations intellectuelles. Comme toujours, quelques idées *a priori* ont, dès l'abord, obscurci la clarté des faits. Parce que nous jugeons notre personnalité une et indivisible, à ce point que le mot

(1) Guêpes stylopisées, par exemple, galles du blé niellé, etc. — (2) Galles produites par les Cynips. — (3) XXII et XXIII. — (4) XXVII, 710.

individu, si souvent employé pour désigner chacun de nous, ne signifie pas autre chose, nous avons quelque peine à concevoir que cette individualité n'ait pas été réalisée d'emblée, et les conclusions qui se dégagent inéluctablement des faits ne sont pas encore sans rencontrer quelque résistance de la part d'esprits souvent éminents. Admettons d'ailleurs que les choses aient pu, au début, se passer de façons diverses : pratiquement tous les organismes qui dépassent l'état d'une simple gelée vivante sont aujourd'hui construits de la même façon, arrivent de la même façon à leur structure définitive. On peut même ajouter que les cas exceptionnels qui ont été signalés, comme ceux des algues de la famille des Siphonées, des champignons du groupe des Myxomycètes, des infusoires du genre *Salinella* de Semper, peuvent être facilement ramenés au cas général.

Les faits à la pression desquels on ne saurait échapper peuvent se résumer en quatre propositions :

1° Tout organisme, végétal ou animal, est formé par un assemblage d'éléments, généralement microscopiques, présentant la même constitution fondamentale, et qui ont été désignés sous les noms de *cellules*, d'*éléments anatomiques* ou plus récemment de *plastides*.

2° Il existe des êtres vivants réduits à un seul plastide, et dans la nature actuelle une multitude de formes, constituées par des associations de plus en plus complexes de plastides, s'échelonnent entre les plastides isolés et les organismes les plus complexes.

3° Tout être vivant a pour point de départ unique un plastide, l'*œuf*, et n'atteint sa complication finale que par la division répétée de ce plastide initial et de ceux qui en proviennent.

4° Les plastides qui vivent à l'état isolé se divisent comme ceux qui doivent constituer des organismes, dès qu'ils ont atteint une certaine taille; la seule différence, c'est que les plastides nés de cette division s'éloignent les uns des autres

dès qu'ils se sont formés, tandis qu'ils demeurent contigus quand ils s'emploient à constituer un organisme.

Cela revient à dire que les organismes supérieurs se sont uniquement constitués par l'association graduelle de plastides de plus en plus nombreux. En s'associant ainsi, ces plastides aliènent sans doute une partie de leur liberté, mais ils n'en conservent pas moins un haut degré de personnalité. On a su de tout temps qu'un fragment quelconque d'un végétal peut être isolé sans mourir et donner naissance, s'il est placé dans de bonnes conditions, à un végétal nouveau; Trembley a établi de 1740 à 1744 (1) que l'hydre d'eau douce pouvait être fragmentée de la même façon; depuis on a reconnu que les éponges, les polypes et, en général, tous les animaux ramifiés présentent cette propriété; la transplantation des tissus, la greffe a réussi aussi bien chez les animaux supérieurs que chez les plantes, et dans ces derniers temps le Dr Alexis Carrel parvenait à conserver vivants, et à faire grandir, des lambeaux de tissu conjonctif, voire même des nerfs, dans des milieux artificiels appropriés, sans le secours d'aucun organisme (2); ainsi se trouvait démontrée directement cette *indépendance des éléments* anatomiques que Claude Bernard avait déduite de ses expériences physiologiques.

Cette indépendance apparaît encore au cours du développement embryogénique. Les premières phases de ce développement consistent dans la division de l'œuf en deux, quatre, huit, etc., éléments qui sont semblables entre eux lorsque l'œuf ne contient pas une grande quantité de substance nutritive et tant qu'ils ne sont pas assez nombreux pour être obligés de se disposer en couches superposées. Ces éléments s'appellent des blastomères. Les blastomères sont semblables à l'œuf lui-même ; on parvient, en effet, en agitant violemment certains œufs, à séparer l'un de l'autre les deux premiers blastomères, tout

(1) XXVIII. — (2) XXIX.

au moins ; chacun d'eux se développe alors isolément et produit un embryon ne différant des embryons normaux que par sa taille moitié moindre (1). Cette séparation des blastomères peut se produire spontanément, mais accidentellement, même chez l'Homme ; l'œuf produit alors deux jumeaux, qui sont toujours de même sexe et qui n'ont qu'un seul placenta chez les mammifères. Ce qui est accidentel chez l'homme se produit d'une façon normale chez d'autres mammifères, les Tatous, qui sont des édentés cuirassés de l'Amérique du Sud. L'œuf du Tatou à neuf bandes se divise de manière à donner toujours naissance à quatre jumeaux du même sexe (2) ; celui du Tatou hybride en produit d'un seul coup sept, huit, ou neuf (3). Les choses peuvent aller plus loin : quand on place des œufs fécondés d'oursin, comme l'a fait Herbst, dans de l'eau de mer privée de calcium, les trente-deux premiers blastomères peuvent se séparer, se développer isolément, et, tout au moins, ébaucher trente-deux embryons. Cette division arrive enfin à se faire naturellement chez les embryons de minuscules moucherons à quatre ailes, apparentés par conséquent aux guêpes, qui seraient, en quelque sorte, des guêpes lilliputiennes. Les larves de ces insectes infimes par la taille, mais déjà élevés en organisation se développent soit à l'intérieur d'autres larves emprisonnées dans des galles, les larves de certains moustiques, les Cécidomyies, soit plus souvent dans des chenilles d'ordinaire fort petites, comme celles des teignes du genre Hyponomeute qui vivent sur le fusain. Les chenilles parasitées contiennent toujours une multitude de larves ; on en a compté jusqu'à trois mille, et on s'est longtemps demandé pourquoi, entre ces nombres très élevés de parasites et l'immunité complète, il n'y a pas d'intermédiaire,

(1) Driesch (**XXX**) a opéré ainsi sur des œufs d'oursin et d'*Amphioxus* ; Bataillon (**XXXI**) a réussi de même pour la lamproie.

(2) De Morgan (**XXXII**) pour un poisson élevé, le fondule.

(3) Von Jehring avait déjà conclu de là, en 1885-1886, à la dislocation de l'œuf, confirmée en 1909 par Miguel Fernandez (**XXXIII**).

alors que le moucheron pondeur ne contient guère qu'un cent d'œufs. La solution du problème a été donnée par M. Marchal (1). Les embryons de la plupart des insectes sont enfermés dans un sac, l'amnios, dérivé, comme eux, d'une membrane cellulaire, le blastoderme, formée par la division du noyau de l'œuf. Chez les menus parasites dont il s'agit, l'œuf commence par se diviser en deux moitiés dont l'une produit l'amnios, et l'autre d'ordinaire un embryon unique ; mais dans certaines espèces les éléments destinés à former l'embryon se séparent, se développent isolément, si bien que d'un seul œuf il peut naître, suivant les espèces, une dizaine de larves (2), près de deux cents (3) et jusqu'à trois mille (4). Ici les blastomères demeurent semblables les uns aux autres durant un grand nombre de bipartitions.

Dans les œufs chargés de substances de réserve les choses se passent tout autrement, ce qui a conduit, parce qu'on a généralisé les faits sans remonter à leur cause, à des conceptions embryogéniques tout à fait erronées.

Dès la première division les blastomères sont souvent très inégaux ; le plus petit, clair et transparent, est formé de substance vivante presque pure ; le plus gros, granuleux et opaque, contient presque toutes les réserves alimentaires ; il continue à se diviser inégalement en formant de nouveaux petits blastomères clairs, mais en même temps il se divise lui-même plus ou moins paresseusement en blastomères qui demeurent granuleux et plus gros que les blastomères clairs. L'embryon se trouve ainsi formé de blastomères de deux sortes qui sont nécessairement solidaires puisque les plus gros détiennent les substances nutritives qui devront permettre l'accroissement et la division des plus petits ; l'embryon est dès lors un tout qui pourra être

(1) XXXIV.— (2) *Polygnotus minutus*, parasite des Cécidomyies (Marchal).
(3) *Encyrtus* (*Ascidiaspis*) *fuscicollis* parasite des chenilles de l'Hyponomeute du fusain (Marchal).
(4) *Litomastix*, parasite des chenilles des papillons nocturnes du genre *Plusia* (Silvestris).

encore susceptible de se diviser en amas cellulaires, contenant les deux sortes d'éléments et capables de se développer chacun en un individu distinct. L'œuf de certains Bryozoaires (1), après s'être segmenté, peut ainsi se scinder en un certain nombre — jusqu'à une centaine — de groupes de blastomères produisant chacun une larve. Les embryons de quelques espèces de Lombrics se scindent même régulièrement en deux, avant de produire la succession d'anneaux qui constitue le ver. Par exception, cette division peut encore se produire partiellement chez les embryons des animaux supérieurs, et c'est l'origine de plusieurs sortes de monstres doubles; mais d'ordinaire, les diverses parties de l'embryon arrivent vite à ne plus être séparables les unes des autres, et chaque blastomère paraît avoir, dès qu'il se constitue, une destination particulière. Il y a des blastomères qui semblent chargés de former la région antérieure du corps, d'autres sa région moyenne, d'autres sa région postérieure; les uns appartiennent au côté droit, les autres au côté gauche; il y en a pour la face ventrale du corps, d'autres pour sa face dorsale; et dans l'édification des tissus ou des organes de ces diverses parties du corps, chacun a son rôle déterminé. Quand on vient à supprimer un de ces éléments, il n'est pas suppléé par les autres; les tissus et les organes qui devaient être son œuvre n'apparaissent pas, ils sont supprimés avec lui (1); quand on le déplace, il fait ce qu'il devait faire à la place nouvelle qu'on lui a imposée. L'embryon est comme un édifice dont les pierres seraient préparées d'avance pour occuper une place déterminée et pas d'autre; il contient en puissance toutes les parties de l'individu adulte et rien qu'elles; chacune d'elles correspond à une partie spéciale de l'œuf, et la substance de l'œuf lui-même arrive à être répartie de telle façon qu'on peut dire qu'elle a une extrémité antérieure, une extrémité postérieure, une face dorsale, une face ventrale, un côté droit et un côté gauche cor-

(1) Expériences de Wilson.

respondant exactement aux mêmes parties de l'embryon. Mais entre les œufs ainsi constitués et les œufs susceptibles de produire plusieurs embryons, il y a tous les intermédiaires. Cette détermination des fonctions des blastomères en vertu de laquelle chacun est mis, dès qu'il s'individualise à sa place dans une région du corps qu'il ne quittera plus, et dont il formera les tissus et les organes, n'est pas une condition initiale du développement embryogénique; elle a été graduellement réalisée, amenant peu à peu, dans les phénomènes embryogéniques, une précision qui aboutit elle-même à une rapidité maxima dans le développement. Elle n'est qu'un cas particulier des phénomènes d'*accélération embryogénique* ou de *tachygénèse* qui ont joué un si grand rôle dans l'évolution des organismes, ont été longtemps si négligés, et sans la considération desquels il est pourtant impossible de rien comprendre à l'histoire des formes vivantes et à la détermination de leur origine. Il est bien évident que si, renversant l'ordre des choses — comme il est arrivé si souvent et fatalement dans une biologie philosophique qui prenait l'Homme soit comme point de départ, soit comme modèle du règne animal tout entier — on considère comme le type embryologique normal ces œufs où tout est déterminé à l'avance, un miracle seul peut les avoir créés, et nous n'avons plus d'explication à chercher. Or, s'il y a dans ces œufs des blastomères dont le sort est déterminé par le rang qu'ils occupent dans la suite des bipartitions de l'œuf et par la place que ce rang leur impose, il en est d'autres qui ne servent pas immédiatement à l'édification du corps et sont mis en réserve pour évoluer plus tard. Les plus importants de ces éléments d'attente sont ceux qui, chez beaucoup d'animaux tels que les Rotifères, les Daphnies, divers petits insectes, servent à former les éléments génitaux; ils peuvent s'isoler dès la première segmentation, ce sont alors de véritables blastomères. C'est en s'appuyant sur ces cas extrêmes, pris comme s'ils représentaient les conditions primordiales de la génération, autrement dit en renversant bout

pour bout l'ordre des choses, que Weismann a pu se croire autorisé à considérer le plasma constituant les organes génitaux, le *plasma germinatif* ou *germen*, comme distinct du plasma constituant les éléments du corps, le *plasma somatique* ou *soma*. Sur cette distinction il a édifié tout son système, véritable pyramide posée sur sa pointe, — il n'y a pas lieu d'y insister davantage.

Les éléments ainsi mis à part peuvent évoluer plus ou moins vite, produire des éléments plus ou moins spécialisés, comme ceux des conduits génitaux, et d'autres qui gardent leurs caractères primitifs de blastomères. Ces derniers sont naturellement susceptibles d'évoluer sans fécondation en individus nouveaux ; c'est l'explication de la plupart des phénomènes de parthénogenèse que présentent de menus insectes : Pucerons, Cochenilles, Cynips, qui sont parfois compliqués de viviparité, et sont susceptibles de se manifester même chez des larves, telles que les larves des diptères du genre Cécidomyie.

Ces éléments de réserve ne sont pas d'ailleurs seulement les éléments destinés à produire l'appareil génital; ils peuvent appartenir à n'importe quelle région du corps de l'embryon et, dès lors, comme dans les embryons à blastomères prédestinés, ils représentent cette région du corps et pas d'autre. C'est ainsi que Künckel d'Herculais et Weismann ont établi que dans chacun des segments du corps des insectes sujets à des métamorphoses complètes sont rassemblés, sous forme de replis du tégument, des éléments indifférents, nommés par le premier de ces naturalistes *histoblastes*, par le second *disques imaginaux*, et qui sont destinés soit à remplacer les éléments usés de la larve, soit à produire les tissus ou les organes nouveaux qui donnent à l'animal adulte une figure souvent fort différente de celle de sa larve, et font dire que celle-ci a subi une *métamorphose*. Le fait que ces histoblastes ne représentent strictement que le segment du corps duquel ils dépendent tend à établir d'ailleurs l'individualité de ces segments, conception

importante pour l'explication de l'évolution des organismes.

Si la cause primordiale de cette évolution réside dans la faculté qu'ont acquise les premiers êtres vivants, tous microscopiques, de s'associer pour former des corps dont la puissance a pu devenir colossale; si nous pouvons concevoir sans peine que, dans de telles associations, chaque élément, conservant une part importante d'indépendance, se modifie d'une façon spéciale sous les influences qu'il subit soit de la part du milieu extérieur, soit de la part de ses voisins, dont les produits d'excrétion le baignent ou le pénètrent, et qui pour les besoins de leur propre nutrition modifient continuellement le milieu même qui leur est commun, rien n'est plus naturel qu'il résulte de là une grande variété dans les caractères et les propriétés des éléments associés en un même corps, que de cette variété naisse entre les éléments associés un degré plus ou moins grand de solidarité, puisque, tout en vivant chacun pour son compte, le milieu dans lequel ils vivent est leur œuvre commune, et qu'il est presque impossible de le reconstituer sans eux. Mais comment se fait-il que, lorsque de cette association se détache soit un groupe d'éléments susceptibles de continuer à vivre associés et de se multiplier, soit un élément unique, l'œuf, capable de se nourrir et de se multiplier lui aussi d'une façon indépendante, les éléments nouveaux se diversifient et se groupent, dans les deux cas, quelles que soient les conditions extérieures, de manière à reconstituer un organisme semblable dans tous ses détails à celui d'où ils se sont détachés?

Nous sommes, sur ce point, réduits à des hypothèses dont une analyse un peu serrée des phénomènes permet cependant de restreindre le champ. Toute modification portant sur une partie déterminée du corps se traduit par un changement soit dans la constitution des éléments qui le composent, soit dans leur mode de nutrition ou d'activité, soit dans leur nombre. Dans tous les cas, les produits qu'ils excrètent

sont modifiés, eux aussi, soit dans leur qualité, soit dans leur quantité. Ces produits peuvent être directement déversés dans le milieu intérieur, c'est-à-dire dans le sang ou dans le liquide qui en tient lieu chez les animaux inférieurs, et ce milieu en éprouve une modification corrélative de celle de la partie du corps modifiée. Ils peuvent aussi passer immédiatement dans les éléments voisins, qu'ils modifient, qui modifient à leur tour les éléments avec qui ils sont en rapport; et ces modifications peuvent revenir de proche en proche jusqu'aux éléments génitaux qui, dans le premier cas, seraient modifiés d'emblée, du fait de leur immersion dans le milieu intérieur lui-même modifié; mais il est bien difficile d'admettre qu'il existe une corrélation si étroite entre le milieu intérieur et les diverses parties du corps, que les modifications de celles-ci retentissent, par l'intermédiaire de ce milieu, assez rigoureusement sur les éléments génitaux pour que ceux-ci les reproduisent exactement et à leur place. La seconde hypothèse est plus vraisemblable, mais elle suppose que les éléments génitaux n'achèvent de s'élaborer que lorsque tous les caractères de l'organisme auxquels ils appartiennent se sont développés. C'est bien, en effet, sauf de rares exceptions, lorsque l'animal est achevé, lorsqu'il est adulte, comme on dit, que les éléments génitaux sont prêts à évoluer, et les exceptions à cette règle ne sont qu'apparentes ou s'expliquent par des phénomènes de tachygénèse. Dans les éléments anatomiques, les agents les plus actifs de transformation, ceux qui dirigent les phénomènes de nutrition et, par conséquent, sont aussi les facteurs principaux des formes, appartiennent à la catégorie des ferments solubles. Si l'action très étendue de ces ferments est réversible; s'ils sont capables de reconstituer dans certaines circonstances ce qu'ils ont détruit dans d'autres; si les éléments génitaux contiennent des ferments de cette nature, ces ferments pourront refaire, à mesure que les divisions de blastomères se multiplieront, la série des substances composant les éléments qu'ils ont primitivement traversés pour

arriver jusqu'à l'œuf; dès lors, à mesure que des éléments nouveaux apparaîtront, ces éléments revêtiront la forme et les propriétés des éléments divers du parent.

Aperçoit-on dans la structure des éléments génitaux quelque chose qui puisse donner corps à cette hypothèse? Il est temps, pour répondre à cette question, de préciser la structure commune, au moins au début de leur existence, à tous les éléments anatomiques et à tous les éléments génitaux.

Tout élément anatomique, on le sait, est constitué par une masse dite protoplasmique, mélange de substances diverses, nue ou limitée par une membrane, au sein de laquelle une mince vésicule isole d'autres substances constituant le *noyau*. La substance la plus remarquable que contienne ce noyau est celle qui a reçu le nom de *chromatine* (1) parce qu'elle a une aptitude particulière à fixer les matières colorantes et notamment le carmin ammoniacal. Pendant la période de bipartition des éléments en voie de multiplication, la chromatine contenue dans le noyau, et qui était ordinairement disposée jusque-là en réseau, se ramasse en un ruban sinueux dont les festons, en *nombre constant*, sauf de rares exceptions, pour tous les éléments des organismes de même espèce, se séparent bientôt les uns des autres, formant autant de corpuscules distincts, les *chromosomes*. Le nombre de ces chromosomes est généralement pair. Dans tout le règne animal, comme dans tout le règne végétal, les éléments qui doivent donner naissance aux éléments génitaux, aux œufs ou aux spermatozoïdes, se divisent deux fois coup sur coup, de telle façon qu'à la dernière division chez les animaux, dès l'avant-dernière chez les végétaux, les chromosomes, au lieu de se diviser avant l'élément et de se répartir également ensuite entre les deux éléments qui résultent de la division de ce dernier, se répartissent également entre eux sans se partager au préa-

(1) χρῶμα, couleur.

lable. Le nombre des chromosomes des éléments génitaux est donc de moitié moindre que celui des éléments du corps. La pénétration de l'élément mâle dans l'œuf rétablit le nombre des chromosomes, et fait de l'œuf fécondé le premier élément normal du corps, celui qui produit tous les autres par bipartition.

Il semble résulter de là que pour que l'œuf puisse évoluer en utilisant les matériaux de réserve qu'il a accumulés et dont la présence le distingue de l'élément mâle, il est nécessaire qu'il contienne une quantité déterminée de chromatine. La chromatine serait donc la substance active qui préside à la digestion des réserves dans les éléments anatomiques. Des expériences déjà anciennes de Balbiani sur les Infusoires, reprises depuis par divers observateurs, semblent confirmer entièrement cette manière de voir. La chromatine ne peut opérer cette digestion qu'à l'aide de ferments associés sans doute à d'autres sécrétions dont la quantité et la nature influent sur les qualités des éléments ultérieurement formés et déterminent le déclenchement que nous avons précédemment décrit.

Une preuve de cette influence de la chromatine nous est fournie par ce qui se passe chez certains Insectes qui ont des spermatozoïdes de deux sortes, soit qu'une moitié des spermatozoïdes contienne un chromosome de plus que l'autre moitié (1), soit que l'une des deux moitiés contienne un chromosome plus gros que les autres (2). Les œufs fécondés par les spermatozoïdes les plus riches en chromatine dans ces deux cas donnent naissance à des femelles, les autres à des mâles. Ce fait prend plus d'importance encore si l'on se rappelle que les œufs d'abeilles qui se développent sans fécondation donnent constamment naissance à des mâles.

(1) Blatte; Hémiptères des genres *Pyrrhocoris*, *Protenor*, *Anasa*, *Alydus*, etc.

(2) Hémiptères des genres *Lygæus*, *Cœnus*, *Euschisius*, Coléoptère du genre *Tenebrio*, Mouche domestique.

Il n'entre pas dans notre dessein d'étudier ici le problème de la détermination des sexes; il nous suffit d'avoir montré le rôle important de la chromatine et d'avoir indiqué la voie qu'elle ouvre à la conception naturelle des phénomènes d'hérédité. Ajoutons que si, dans certains cas fréquents surtout chez les Insectes, le sexe est déterminé dès la fécondation de l'œuf et tient notamment à des conditions de constitution des spermatozoïdes, que si cette détermination est, dans d'autres cas, précoce, ce n'est pas une raison pour affirmer qu'il soit impossible d'exercer une action sur elle, et qu'il faille abandonner ce problème.

En résumé, l'évolution de l'œuf peut être ramenée à un phénomène de nutrition. Le fait de la reproduction des caractères des parents par leur descendance est ce qu'on nomme l'*hérédité*. On ne peut dire qu'on en ait donné une explication véritable. Tout ce qui a été dit sur ce sujet est pure hypothèse ou pétition de principe, et le mieux qu'il y ait à faire, pour le moment, est d'essayer de serrer de près les conditions dans lesquelles l'hérédité a pu prendre naissance et dans lesquelles, une fois créée, elle fonctionne (1).

Nous ne nous arrêterons pas à discuter la négation de l'hérédité des caractères acquis, après ce que nous avons dit de la théorie de Weismann. Cette négation n'a pas de sens. On ne peut contester que les formes vivantes se soient modifiées depuis l'origine du temps; elles n'ont pu se modifier qu'en acquérant des caractères nouveaux, et si ces caractères n'avaient pas été héréditaires, leurs modifications ne se seraient pas conservées. La seule question qui se pose est de savoir comment ces caractères nouveaux ont été acquis. Ils ne sont pas nés tout seuls, ce qui serait miraculeux; il est incontestable, d'autre part, que la sécheresse, l'humidité, la plus ou moins grande violence du vent, la chaleur, la lumière, l'électri-

(1) XXXVII.

cité même peuvent modifier temporairement ou d'une façon permanente les caractères personnels des êtres vivants, animaux ou végétaux. L'abondance, la rareté, la nature de l'alimentation ont une influence plus grande encore et, si l'on ne peut être, au premier abord, aussi affirmatif pour l'usage ou le non-usage de tous les organes, on ne saurait nier, en tout cas, que l'exercice fait grossir les muscles et crée des habitudes.

L'organisme porte en lui-même des causes diverses de modification d'ordre chimique dont l'importance est des plus considérables. Tout élément du corps, par cela seul qu'il se nourrit ou qu'il entre en activité, déverse autour de lui des substances qui se diffusent dans le corps entier et dont l'action se fait sentir, par conséquent, à des degrés divers dans toute son étendue. En dehors des modifications qu'il peut subir du fait de son mode de fonctionnement, un organe quelconque, par cela même qu'il fonctionne, tend donc à modifier d'une façon particulière l'organisme tout entier. Les substances grâce auxquelles il agit ont sans doute des affinités électives pour tel ou tel élément, mais soit directement par le fait de leur diffusion, soit indirectement par l'intermédiaire du système nerveux, elles peuvent, chez les animaux, avoir une action générale sur l'organisme, augmenter ou diminuer sa taille par exemple, comme c'est le cas dans l'acromégalie d'origine hypophysaire; elles peuvent aussi agir sur tel ou tel tissu, tel ou tel organe, tel ou tel système ou appareil, par conséquent exercer une action locale, changer les proportions relatives des organes et devenir ainsi des éléments de modification de la forme extérieure du corps. M. Armand Gautier (1) a montré que les caractères morphologiques des diverses variétés de vignes correspondent à des modifications dans la composition chimique de leurs pigments qui, tout en relevant du même type chimique, diffèrent par le nombre et la composition des radicaux qui

(1) LXI.

entrent dans leur constitution. Les organes reproducteurs comptent parmi ceux où les actions chimiques sont le plus actives; on sait quelles modifications subissent, sous leur influence, les feuilles reproductrices, et celles qui les avoisinent : pétales, sépales, bractées et même, comme chez les éclatantes *Poinsetia*, un certain nombre de feuilles ordinaires; on observe des modifications analogues sur les rameaux fertiles des polypes hydraires (1), et on a souvent décrit l'éclat que prennent les robes de noces de beaucoup de vers, de poissons, de batraciens, de reptiles, d'oiseaux au moment de la reproduction. La coïncidence entre la formation ou la maturation des éléments génitaux et l'apparition de ces brillantes parures est trop générale pour qu'il n'y ait pas entre elles une relation de cause à effet; et comme les éléments génitaux sont ici les éléments actifs, il est bien probable que c'est eux ou les *glandes interstitielles* qui en dérivent qu'il faut considérer comme la cause des modifications que présente l'organisme pendant la période de la reproduction. Dans cet ordre d'idées on est autorisé à se demander si les ailes, les formes nouvelles, les brillantes couleurs qui caractérisent les insectes adultes et qui apparaissent au moment de leur maturité sexuelle n'ont pas été simplement jadis des robes de noces. Il faut, d'autre part, remarquer que le plumage de noces, limité à la saison des amours chez les mâles de certains oiseaux (Combattants, Aigrettes, etc.), peut devenir permanent chez d'autres (Coqs, Faisans, Paons, etc.), à partir de l'époque où les mâles sont adultes, et qu'il existe des séries d'espèces où l'on voit les brillantes parures des mâles gagner progressivement les femelles, comme c'est le cas dans la famille des Martins-pêcheurs et dans celle des petits papillons bleus de nos champs, les *Argus* ou Polyommates. Voici donc une forte présomption qu'un caractère acquis temporairement, sous certaines influences propres à un sexe déterminé, peut

(1) Corbules des *Aglaophenia*, phylactocarpes des *Lytocarpus*, méduses de Campanulaires et d'Hydraires gymnoblastiques.

persister quand ces influences ont cessé et, par hérédité, s'étendre à l'autre sexe.

Quelles que soient la cause ou l'ensemble de causes qui ont amené une modification d'un organisme, il faut, pour que cette modification devienne héréditaire, que la ou les causes qui l'ont déterminée aient agi directement ou indirectement sur les éléments génitaux; mais il faut, de plus, que la modification éprouvée par les éléments génitaux soit telle, qu'elle se répercute à son tour sur les éléments issus de ceux-ci et arrive, par une série de déclenchements successifs, à obtenir la réalisation du caractère nouveau. Comment cette série de déclenchements peut-elle se produire avec la régularité que nous connaissons? Si nous remarquons que les toxines injectées à un organisme provoquent, en général, la formation d'antitoxines ayant des propriétés inverses de celles de ces toxines, nous sommes conduits à tenir pour vraisemblable que les substances actives contenues dans l'œuf peuvent provoquer de proche en proche la reconstitution des substances dont les modifications successives ont conduit jusqu'à elles, et par conséquent la réapparition des caractères auxquels elles correspondent. Des recherches récentes ont montré, d'autre part, que l'action des radiations sur les composés organiques est souvent réversible, et MM. Em. Bourquelot et Bridel ont établi qu'il en est de même de celle des ferments, généralement capables de refaire, dans certaines conditions, ce qu'ils ont défait (1). Il semble qu'on puisse attribuer l'hérédité à une réversibilité du même genre. Cette remarque n'est certes pas une explication des phénomènes d'hérédité; elle permet cependant d'entrevoir comment ils ont pu se produire, ouvre la voie à des recherches précises et permet d'éliminer d'emblée comme inutiles, les hypothèses qui font appel à des agents presque surnaturels, ou tout au moins insaisissables. Dans

(1) LXII, 63.

son livre sur l'*Hérédité*, M. Yves Delage a d'ailleurs discuté savamment toutes ces questions dont la solution relève probablement de la Chimie biologique la plus délicate.

Quoi qu'il en soit, si l'on considère l'*hérédité*, non dans ses causes, mais dans ses effets, on lui attribue unanimement pour rôle de maintenir, dans la descendance des organismes, les caractères acquis par eux sous l'action de causes déterminées, après que ces causes ont cessé d'agir. Elle apparaît donc, au premier abord, comme essentiellement conservatrice; mais elle crée, par cela même, les plus graves difficultés dans la recherche des causes qui ont déterminé les caractères des êtres vivants, justement parce qu'elle maintient ces caractères dans des conditions d'existence qui ont été manifestement incapables de les produire, et avec qui ils peuvent même se trouver en complet désaccord. Mais il y a plus : même quand les organismes continuent à vivre dans les conditions qui ont déterminé leurs caractères, on voit apparaître ceux-ci alors que ces causes sont incapables d'agir, pendant la vie embryonnaire par exemple, ou, lorsqu'elles sont périodiques, comme les saisons, en dehors de leur période : c'est ainsi que l'accord entre les voyages des oiseaux migrateurs et les variations de la température n'est que très relatif. Habitués à voir les caractères des organismes et d'une manière générale les phénomènes embryologiques se manifester sans qu'il soit possible de les rattacher à une cause extérieure déterminée, impuissants, quand ces causes ont été soupçonnées, à démontrer d'une manière irréfutable leur intervention, les naturalistes se sont désintéressés de la recherche de toute explication, ils ont déclaré cette recherche vaine, sinon extrascientifique; ou bien ils ont substitué aux explications des conceptions *a priori*, formulées sous forme de *lois générales*, empruntées à quelque système philosophique, ou mises au rang des mystères impénétrables de la Nature. Ce sont, en fait, les difficultés d'explication créées par l'*hérédité* qui ont conduit à la doctrine du *créatio-*

nisme, et lui ont permis de se maintenir contre toute vraisemblance.

Mais l'action de l'hérédité ne se borne pas à conserver les caractères en dehors des causes qui les ont produites; par cela seul qu'elle les conserve tous, elle les accumule; c'est ce qu'Étienne Geoffroy Saint-Hilaire avait nettement aperçu, lorsqu'il disait que *les embryons des animaux supérieurs reproduisent les formes permanentes des animaux inférieurs*. Cela revient à dire qu'ils revêtent successivement les caractères acquis par leurs ancêtres et dont ils ont hérité, si l'on admet la théorie de l'évolution, comme c'était le cas pour Geoffroy Saint-Hilaire. Antoine Serre, disciple de Geoffroy Saint-Hilaire, n'a pas exprimé ce fait d'une façon plus précise lorsqu'il a employé cette formule un peu sibylline : « L'anatomie transcendante n'est qu'une anatomie comparée transitoire, comme l'anatomie comparée n'est qu'une anatomie transcendante permanente. » Ce qu'il appelait anatomie transcendante est ce que nous appelons aujourd'hui l'embryogénie. Comme l'anatomie comparée ne peut procéder que par la considération de la série des formes, en allant des plus simples, c'est-à-dire des plus anciennes, aux plus élevées qui sont aussi les plus récentes, nous arrivons à la formule d'Hæckel, qui ne diffère des précédentes que par son adaptation aux idées modernes : « *L'embryogénie des êtres vivants n'est qu'une répétition abrégée de leur généalogie.* »

Si l'on s'en tenait à la lettre de cette formule, il semblerait qu'il n'y aurait qu'à prendre les termes les plus élevés de chaque série organique et à les étudier, depuis l'œuf initial jusqu'au terme de leur vie, pour avoir une répétition exacte de tout le passé des êtres actuellement vivants sur la terre ; il resterait, il est vrai, à reconstituer les séries latérales éteintes; on y parviendrait par l'étude comparative des fossiles qui se sont succédé. La connaissance exacte des lois qui ont présidé à l'évolution des séries actuellement représentées permet-

trait de combler les lacunes des séries éteintes et dont on n'aurait retrouvé que des fragments.

Malheureusement il n'en est pas tout à fait ainsi, et d'abord ces simples mots « répétition abrégée » que contient la formule de Hæckel cachent de telles embûches que Hæckel lui-même n'a pu les éviter, et qu'il n'a même pas réussi à circonscrire les régions dans lesquelles elles se trouvent.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, c'est par millions d'années que se compte la durée de la vie sur la terre, et c'est aussi le temps qu'ont mis les espèces actuelles à acquérir leurs caractères. Or la durée maximum du développement d'un animal, la taille mise à part, n'excède pas deux ans, et il est des insectes, fort complexes cependant, qui accomplissent toute leur existence, y compris leurs métamorphoses, en quelques semaines; dans l'un comme dans l'autre cas, l'abréviation de la généalogie, dans l'embryogénie, est donc colossale. Elle est d'ailleurs fort inégale, même dans des espèces voisines. Il y a des cas où le jeune animal éclôt n'étant encore en possession que d'une très petite partie de son corps : les autres parties se forment successivement, sans qu'il cesse de mener une vie active; c'est alors qu'il y a des chances pour que toutes les formes successives qu'il revêt représentent des formes ancestrales ou tout au moins des formes qui les rappellent; nous désignerons sous le nom de *patrogonies* les modes de développement qui réalisent cette condition. Mais même alors, l'abréviation est telle, les formes ancestrales réelles se succèdent si rapidement, qu'elles se télescopent, pour ainsi dire, de sorte que les formes successives de l'embryon peuvent être seulement considérées comme analogues aux formes ancestrales, sans en reproduire aucune exactement. Le sens général de l'évolution est indiqué, non le détail.

Dans des espèces voisines parfois des précédentes, le jeune animal éclôt, sinon avec sa forme définitive, du moins pourvu déjà de toutes les parties de son corps. Alors le développe-

ment s'accomplit souvent assez vite pour que les parties du corps, qui se forment successivement dans le cas précédent, paraissent se former simultanément; les processus de l'évolution peuvent alors être tellement modifiés, et les formes revêtues par l'embryon rappellent si peu les formes ancestrales, qu'à aucun moment, si on le libérait des enveloppes qui le protègent, il ne serait capable de mener une vie indépendante. C'est le cas pour tous les vertébrés, sauf l'*Amphioxus*. Nous réservons le nom de *tachygonies* à ces embryogénies très accélérées. On trouve dans une même série d'organismes tous les passages entre elles et les patrogonies. Le fait même de l'*accélération embryogénique* graduelle qui apparaît ainsi est ce que nous avons appelé déjà la *tachygénèse* (1).

Aussi bien dans les cas de patrogonie que de tachygonie, l'embryon subit l'influence des conditions actuelles dans lesquelles s'accomplit son développement; elles tendent à l'écarter des formes ancestrales et peuvent lui imposer des formes très différentes aussi de celles des embryons des espèces qui se sont développées dans d'autres conditions. Ces modes adaptatifs de développement, reconnaissables à la grande variété des caractères que présentent les embryons d'espèces voisines, doivent être distingués sous le nom d'*armogonies* (2), et le phénomène d'adaptation aux conditions de développement qui les déterminent peut, dès lors, être désigné sous le nom d'*armogénèse*. L'armogénèse peut compliquer les patrogonies, aussi bien que les simplifier. Ainsi les embryons pélagiques qui vivent en haute mer acquièrent souvent des organes qui manquent aux embryons patrogoniques littoraux; au contraire, les larves d'insectes qui vivent en parasites perdent les pattes et jusqu'aux organes masticateurs des larves

(1) XXXVIII, 149. — (2) De ἁρμός, jointure ou ἁρμή, union et par conséquent adaptation, et γόνος génération. J'ai employé jusqu'ici le mot *armozogonie*, tiré du verbe ἁρμόζω, j'harmonise, mais il n'exprime pas plus exactement les choses, et il est trop long.

libres. D'autre part, les embryons tachygoniques très simplifiés des mammifères acquièrent un organe spécial, le placenta, qui n'a rien à faire avec les formes ancestrales (1).

On peut s'étonner que l'armogénèse, en modifiant les formes embryonnaires, n'entraîne pas de modifications importantes dans la forme définitive qu'elles doivent réaliser. Giard a essayé d'expliquer ce paradoxe en faisant appel à des comparaisons d'ordre mécanique; mais les comparaisons ne sont pas des raisons. En réalité, ce sont les éléments mis en réserve à l'*intérieur* du corps et dont les histoblastes des Insectes et des Némertes sont la plus haute expression, qui conduisent à la forme définitive, après la disparition des organes armogoniques, parce qu'ils ont échappé aux actions extérieures et ont conservé intact le dépôt des hérédités qu'ils tiennent de l'œuf.

Au point de vue de l'évolution des organismes l'armogénèse n'a donc qu'une importance secondaire; il n'en est pas de même de la tachygénèse. Nous avons montré ailleurs qu'elle fournissait une explication de la ressemblance des processus évolutifs des éléments femelles et des éléments mâles (2); son influence sur les formes des êtres vivants n'a pas été moins grande. En vertu de l'indépendance des éléments anatomiques, des tissus, des organes, des régions même du corps, elle peut porter différemment sur toutes ces parties, modifier leurs rapports et leurs proportions, amener des transpositions et des soudures, auxquelles Étienne Geoffroy Saint-Hilaire faisait appel déjà, lorsqu'il voulait expliquer comment l'unité de plan de composition n'excluait pas la variété dans le détail de l'organisation; elle devient ainsi un instrument de modification d'autant plus puissant qu'au cours du développement embryon-

(1) Il est bien entendu que les mots *patrogénèse*, *tachygénèse*, *armogénèse* ne désignent nullement chacun une cause agissante spéciale et propre aux êtres vivants, mais simplement l'ensemble des causes et mécanismes, encore trop souvent inconnus, qui aboutissent respectivement aux divers modes du développement des organismes.

(2) **XXXVIII**, 330.

naire, une véritable lutte pour la vie s'établit en champ clos, pour ainsi dire, entre tous les éléments anatomiques, tous les tissus, tous les organes qu'ils constituent, aussi bien qu'entre les diverses régions du corps.

Si l'armogénèse tend à mettre les embryons en rapport étroit avec le milieu où ils se développent, le tachygénèse tend, au contraire, à altérer de plus en plus ces rapports, à accentuer la dissociation des effets et des causes déjà commencée par l'hérédité dans sa forme purement conservatrice. Heureusement cette dissociation est, en général, graduelle. Dans chaque série les formes inférieures présentent le plus souvent une forme patrogonique de développement, dont les traits essentiels se conservent dans les formes tachygénétiques et permettent, d'une part, de découvrir les liens qui unissent les caractères aux causes capables de les produire, et, d'autre part, d'éliminer, en expliquant les faits sur lesquels on pourrait les appuyer, les objections qui pourraient être faites aux inductions que suggère l'analyse des modes de développement les plus rapprochés des patrogonies. Ce travail d'épuration et de classement des phénomènes embryogéniques n'avait jamais été fait d'une façon méthodique avant que je l'aie tenté dans les articles embryologiques de mon *Traité de Zoologie* (1). C'est pourquoi on n'a pas su tirer de l'embryogénie tous les documents qu'elle contient relativement à l'origine des formes vivantes; c'est pourquoi on n'a pas su mettre en évidence, en particulier, les causes banales qui ont déterminé la formation des grands types organiques, et on s'est si bien habitué à les considérer comme miraculeuses que le grand reproche que l'on fait aux explications que nous allons exposer, c'est d'être trop simples. On leur préfère des explications mystérieuses ou purement verbales, comme si nous voyions agir autour de nous d'autres causes que des causes banales, comme si tous les

(1) XLIII, 567, 624, 961, 1605, 2251, 2565.

progrès qu'a réalisés la géologie générale dans ces derniers temps n'avaient pas eu pour origine l'abandon de la doctrine des cataclysmes miraculeux, des déluges universels et autres « révolutions du globe », en faveur de l'examen attentif des effets des causes actuelles, auquel Buffon et Lamarck s'étaient déjà livrés, avant que sir Charles Lyell les eût systématisés.

En présence de l'insuffisance ou même de l'absence totale des documents paléontologiques, qui auraient pu nous renseigner sur ce qu'ont été les êtres vivants durant la plus ancienne des périodes géologiques connues, la période archéenne qui a vu se former des dépôts atteignant encore, malgré le tassement et les transformations métamorphiques qu'ils ont subis, plus de vingt mille mètres d'épaisseur et qui a duré plus longtemps à elle seule que la période primaire tout entière, nous sommes obligés, pour reconstituer ce que pouvait être la vie à cette époque, de recourir aux documents que nous fournissent les êtres vivants actuels. Ainsi que nous l'avons fait remarquer, les plus inférieurs d'entre eux sont tels, que nous ne pouvons concevoir la vie sous une forme plus simple. Si une théorie générale nous permettait de relier sans lacune ces êtres simples aux êtres les plus compliqués en organisation que nous connaissions, cette théorie aurait toutes les chances d'être applicable aux formes fossiles comme aux formes vivantes; elle permettrait, par conséquent, de rattacher d'une façon plus précise les premières aux secondes, d'interpréter plus rigoureusement les restes incomplets qu'elles nous ont laissés, de préciser les lacunes qui peuvent exister entre les formes qui sont arrivées jusqu'à nous, et nous mettrait parfois en garde contre les conclusions auxquelles pourrait conduire la date apparente de leur première apparition. Une telle théorie équivaut à une généalogie explicative des formes vivantes dont nous devons maintenant indiquer les grandes lignes. Cette question ne pouvait être abordée qu'après l'établissement des principes que nous venons d'exposer.

CHAPITRE III

LA FORMATION DES GRANDS TYPES DE VÉGÉTAUX

Si l'ingéniosité des naturalistes s'est exercée d'une façon inlassable sur tout ce qui touche à la variabilité des formes vivantes, elle s'est détournée, au contraire, de l'explication de ce qu'elles ont de particulièrement fixe et stable. On a observé avec un soin tout particulier toutes les variations de détail; les botanistes se sont évertués à noter les moindres modifications dans la forme et la couleur des pétales des fleurs, dans le contour des feuilles, dans l'abondance ou la rareté des poils ; ils ont distingué soigneusement et parfois à l'infini, comme chez les ronces et les vignes, des espèces, des sous-espèces, des races spontanées, géographiques, ou simplement topographiques, culturales ou sauvages, des variétés, des variations brusques et héréditaires, des fluctuations, etc. Les zoologistes ont été à peine moins ardents dans cette recherche des menues variations ; les vieilles espèces d'animaux rayés, tachetés ou marqués de couleurs tranchées, ont été particulièrement disloquées et, pour n'avoir pas tous les oreilles et la queue exactement semblables, les éléphants d'Afrique ont subi la même dissociation. Si intéressante que soit, à certains points de vue, l'étude de la variabilité des détails, on conviendra qu'elle est tout de même moins importante que celle des causes qui ont pu faire que les végétaux et les animaux sont construits suivant ces types étonnamment persistants que Cuvier nommait des embranchements, et aussi des raisons pour lesquelles il y a des végétaux et des animaux.

Cette dernière question a été précédemment tranchée. Les végétaux tirent tous leurs caractères particuliers de ce que chacun de leurs éléments est enfermé dans une membrane rigide de cellulose qui empêche tout mouvement et, par conséquent, toute manifestation extérieure de la sensibilité. Cette membrane peut faire momentanément défaut, comme c'est le cas pour les zoospores et les anthérozoïdes ou éléments reproducteurs de certaines algues et de certains champignons; elle peut n'apparaître que temporairement et seulement autour des spores ou éléments reproducteurs, comme chez les champignons muqueux ou myxomycètes; il suffit qu'elle se montre, si peu de temps que ce soit, pour qu'on soit autorisé à classer l'être auquel on a affaire parmi les végétaux. Certains organismes peuvent ressembler toute leur vie soit à des zoospores d'algues ou de champignons, soit à des myxomycètes, et n'en diffèrer que par le défaut absolu de formation d'une enveloppe cellulosique; c'est par ces formes que le contact s'établit entre le règne végétal et le règne animal. La séparation entre les deux règnes est ici toute conventionnelle; mais il est légitime de convenir que ces formes ambiguës, faute du caractère positif qui distingue les végétaux incontestables, doivent être rattachées au règne animal; d'autant plus qu'à l'absence de cellulose, caractère négatif, correspond la conservation de la mobilité qui est le caractère positif des animaux. En raison même de l'immobilité que confère à leurs éléments leur enveloppe étroite de cellulose, l'évolution des végétaux a été relativement simple. Lorsqu'ils sont demeurés isolés, ces éléments se présentent sous formes de granules arrondis (1), de bâtonnets (2), de fuseaux (3), de croissants (4), d'hélices (5), etc. Ils peuvent se juxtaposer de manière à former des chapelets (6), des réseaux (7), de petits solides cubiques (8), des éventails soutenus par un

(1) Microcoques, Protocoques, etc. — (2) Bacilles, Bactéries. — (3) Navicules. — (4) *Closterium*. — (5) Spirilles, Spirochètes. — (6) Nostoc. — (7) *Hydrodictyon*. — (8) *Merista*.

pédoncule (1), ou même des sphères susceptibles de nager (2) lorsque les éléments qui les composent sont munis, comme ceux des *Volvox*, de fouets vibratiles. Le plus souvent ils se placent bout à bout de manière à former ces filaments verts, enchevêtrés qui abondent dans les eaux douces et qu'on nomme des *Conferves*. Des filaments analogues, soudés ensemble parallèlement et produisant des rameaux latéraux, construisent le corps ou *thalle* des *Chara*; des éléments plus ou moins polyédriques, plus ou moins dissemblables, disposés en plusieurs assises, peuvent édifier des lames ou même des masses de grandes dimensions comme celles qui constituent les varechs de nos littoraux maritimes, les grandes laminaires marines de plusieurs mètres de long ou ces gigantesques *Macrocystis* flottants des mers australes, qui peuvent s'étirer sur plus de cent mètres. Les végétaux ainsi formés uniquement d'éléments juxtaposés à peu près semblables se répartissent en deux classes : celle des ALGUES, lorsqu'ils sont colorés en vert par de la chlorophylle ; celles des CHAMPIGNONS, lorsque, dépourvus de chlorophylle, ils vivent aux dépens d'autres organismes, ce que sont bien également forcés de faire, mais d'une autre manière, les animaux.

Malgré leur structure très homogène, les algues peuvent présenter une assez grande complexité de forme. Certaines d'entre elles se fixent aux rochers sous-marins à l'aide de crampons qui rappellent les racines des plantes supérieures ; leur corps peut s'allonger en un cordon cylindrique qui ressemble à une tige portant des ramifications latérales, parfois aplaties, et qu'on pourrait appeler des feuilles. On serait tenté d'admettre que de telles algues, devenues terrestres, se sont en bloc métamorphosées en plantes analogues à celles qui poussent dans nos champs ; mais le mécanisme de la naissance de ces plantes paraît avoir été plus compliqué.

(1) *Gomphonema.* — (2) *Volvox.*

Les champignons, nécessairement nés après les algues, mais dominés dans leur évolution par la nécessité de mener une vie de parasites, n'arrivent pas à un aussi haut degré de complication. Les plus élevés d'entre eux sont constitués par des filaments très allongés, diversement intriqués, qui, à certains moments, se pelotonnent par places, s'accolent les uns aux autres et sortent de terre, ou se dressent sur les plantes dans lesquelles ils se sont développés, pour s'étaler ensuite en chapeau et pour former des organes de fructification, tantôt comestibles délicieux, tantôt redoutables poisons que tout le monde connaît.

Les végétaux terrestres, toujours de dimensions très modestes, qui forment la classe des mousses, ressemblent encore tout à fait aux algues au point de vue de leur structure. On peut même passer graduellement, dans la classe des *Muscinées* à laquelle elles appartiennent, d'un thalle aplati en forme de lame continue qui se rencontre chez certaines Hépatiques au thalle des Mousses où l'on voit une petite tige cylindrique porter latéralement des feuilles ; la racine seule est absente.

Mais chez les Mousses, la reproduction a pris une allure particulière que la tachygénèse modifiera chez les plantes supérieures, en lui faisant traverser des étapes successives dont chacune marquera un de leurs embranchements. Les algues inférieures se reproduisent généralement au moyen de corpuscules à qui de minuscules rames mobiles, les fouets ou les cils vibratiles permettent de nager et qu'on nomme *zoospores*. Chez ces algues les zoospores sont toutes pareilles. Cependant, chez d'autres (*Ulothrix, Tetraspora*), elles peuvent, suivant les circonstances, ou demeurer semblables, et donner isolément naissance à une algue nouvelle, ou revêtir deux formes différentes : l'une de grande taille, qui a accumulé des substances de réserve dans son protoplasma ; l'autre de petite taille, dépourvue de ces réserves. Une grosse zoospore ne peut alors se développer en une algue nouvelle qu'à la condition de s'unir au préalable avec une

petite; c'est le début de la sexualité: on dit que la grosse zoospore est femelle, la petite mâle. La première prend désormais le nom d'*oosphère*, la seconde celui d'*anthérozoïde*. Chez les varechs l'oosphère, énorme, est immobile, l'anthérozoïde seul est actif; il n'y a pas de zoospores, la reproduction est toujours sexuée. Chez certaines algues enfin les zoospores sont remplacées par des éléments immobiles asexués qu'on nomme des *spores* et qui se forment dans des organes spéciaux, les *sporanges*. Chez les mousses ces deux modes de reproduction sont combinés et alternent avec une régularité parfaite. Au début du printemps chaque petite tige de mousse s'épanouit, à son sommet, en une délicate rosette de feuilles parmi lesquelles on distingue deux sortes d'urnes minuscules, les unes dites *archégones*, remplies d'oosphères immobiles, les autres dites *anthéridies*, remplies d'anthérozoïdes très actifs. Bientôt chaque oosphère est fécondée par un anthérozoïde. Sans quitter son archégone elle se développe en une plantule nouvelle constituée uniquement par un filament terminé par une capsule ovoïde, un *sporange* rempli de spores. Ces spores, répandues sur le sol humide, se développent en filaments semblables à des conferves, sur lesquels poussent enfin des bourgeons dont chacun deviendra un brin nouveau de mousse.

Le mode de reproduction des mousses est strictement conservé chez les végétaux souvent de très grande taille qui constituent les trois classes des Fougères, des Lycopodes et des Prêles, et forment, par leur ensemble, l'embranchement des Cryptogames. Ici le mode de végétation se complique. Le corps de la plante est généralement constitué par une tige qui rampe sur le sol ou s'allonge sous terre, parfois presque indéfiniment et qu'on appelle un *rhizome*. Sur ce rhizome poussent, en sens inverse, deux sortes de ramifications ; les unes se dressent vers le ciel et constituent les feuilles ; les autres s'enfoncent dans le sol et constituent les racines qui apparaissent ici pour la première fois. Par des files de cellules allongées, placées bout à bout en

ligne droite, l'eau chargée de sels, absorbée dans le sol monte jusqu'aux feuilles, et redescend, après s'être emparée du sucre qu'elles ont formé, vers les racines. Cette eau circulante, c'est la *sève*, et les files de cellules qui tracent son chemin sont les *vaisseaux* de la plante, vaisseaux qui se montrent également pour la première fois et ont valu aux fougères, aux lycopodes et aux prêles leur nom de Cryptogames vasculaires. Lorsqu'il naît un faisceau de feuilles au même point sur le rhizome, ces feuilles s'accolent et constituent une tige secondaire dressée dans l'air, comme c'est le cas pour les fougères arborescentes des pays chauds et peut-être aussi au début pour les prêles à feuilles verticillées. Chez les mousses, c'est la tige feuillée qui porte les organes de la reproduction sexuée et un végétal pour ainsi dire accessoire, fixé sur cette tige feuillée qui produit le sporange et les spores. On constate, chez les cryptogames vasculaires, un singulier renversement dans les dimensions du végétal sexué et du végétal asexué, qui alternent régulièrement dans le développement des mousses, et, jusqu'ici, aucun terme intermédiaire n'est venu combler la lacune qui sépare celles-ci des cryptogames vasculaires. Les sporanges sont, en effet, portés par les grandes feuilles des fougères, les feuilles des tiges accessoires des lycopodes et des prêles ; les spores issues de ces sporanges ne donnent naissance qu'à une lame foliacée, sans racines, rappelant un thalle d'hépatique et que l'on appelle le *prothalle*. Ce prothalle porte des archégones contenant chacun une oosphère, des anthéridies produisant des anthérozoïdes. Chaque oosphère fécondée donne naissance à une nouvelle tige foliée.

Les choses se passent exactement de la même façon dans les trois classes des fougères, des lycopodes et des prêles ; dans toutes les trois on assiste parallèlement aux mêmes modifications de la reproduction par la tachygénèse, et à la transformation graduelle du mode normal de reproduction en un autre mode plus accéléré qui caractérise les phanérogames gymnospermes ; de sorte que non seulement il est certain que

c'est la tachygénèse qui a transformé les cryptogames vasculaires en phanérogames gymnospermes ; mais il est très probable que chaque classe de cryptogames a passé isolément à la gymnospermie et fourni un type spécial de gymnospermes. En fait, les Cycadées, avec leurs grandes feuilles, semblent se rattacher aux fougères, les Conifères à feuilles petites et disposées sur une hélice aux lycopodes, et les Gnétacées à feuilles petites et verticillées aux prêles.

Quoi qu'il en soit, dans les trois classes de cryptogames la marche de la tachygénèse est la même.

1° Les dimensions des prothalles se réduisent et, au lieu de se développer hors de la spore, ils se développent à son intérieur.

2° Les sporanges, au lieu d'être tous identiques entre eux, se divisent en deux catégories : des *macrosporanges*, qui produisent un petit nombre de grosses spores ; des *microsporanges*, qui produisent un grand nombre de petites spores. Les grosses spores ne donnent naissance qu'à des prothalles du sexe féminin portant des archégones ; les petites spores qu'à des prothalles du sexe masculin portant des anthéridies.

3° Dans le tissu producteur de spores des macrosporanges les spores cessent de s'individualiser et de se revêtir de leur membrane protectrice. Ce tissu demeure à l'état indifférent ; les archégones s'y forment directement et chaque archégone se réduit lui-même à l'oosphère surmonté de quatre ou huit cellules représentant son col. Dans les microsporanges, au contraire, les spores s'individualisent, mais le prothalle qu'elles contiennent consiste simplement en trois cellules dont l'une, dite cellule génératrice, peut produire, en se divisant, huit à dix petites cellules (*Microcycas colocoma* de Cuba) donnant chacune naissance à deux anthérozoïdes, ou produire elle-même directement deux anthérozoïdes seulement (*Cycas, Ginkgo*).

4° Finalement les anthérozoïdes cessent de former leur bandelette hélicoïdale de cils vibratiles et se réduisent à un simple noyau.

Ces modifications peuvent déjà se produire sans que l'appareil végétatif change d'aspect, comme l'a vu M. Grand'Eury pour certaines fougères de la houille. Elles caractérisent l'appareil reproducteur des plantes phanérogames gymnospermes et les noms des diverses parties que nous venons d'énumérer changent alors, parce qu'on a d'abord comparé l'appareil reproducteur des gymnospermes à celui des angiospermes pour lequel les botanistes avaient créé une nomenclature toute spéciale : le macrosporange devient ainsi l'*ovule;* le tissu correspondant au prothalle est l'*endosperme*, et les archégones sont les *corpuscules* correspondant chacun à un sac embryonnaire. Les microsporanges deviennent, de leur côté, les *sacs polliniques* et les microspores les *grains de pollen.* Du même coup la feuille modifiée qui porte les macrosporanges est un *carpelle* et celle qui porte les microsporanges une *étamine.*

La transformation des phanérogames gymnospermes en angiospermes s'accomplit simplement par un progrès nouveau de la tachygénèse. Les carpelles, au lieu de demeurer ouverts et étalés de manière à laisser à nu les ovules, d'où le nom de gymnospermes (1), s'enroulent en cornet de manière à les cacher, et le nom d'angiosperme ne signifie pas autre chose. En même temps le prothalle se réduit encore dans l'ovule ; la cellule qui lui donne naissance, et qu'on appelle le *sac embryonnaire*, s'agrandit; son noyau subit, en général, seulement trois bipartitions successives qui donnent naissance à huit noyaux; deux de ces noyaux se fusionnent en un seul occupant le centre du sac embryonnaire, trois autres se portent à la base du sac embryonnaire, les trois derniers à son sommet où ils deviennent les centres d'autant de cellules. De ces trois cellules une seule

(1) De γυμνός, nu, et σπέρμα, graine.

se transforme en oosphère; les autres demeurent stériles; rien ne rappelle plus les archégones. Les microspores ou grains de pollen ne contiennent plus eux-mêmes que deux noyaux, dont l'un se subdivise pour former deux autres noyaux, dernier souvenir des anthérozoïdes.

Pour quiconque aura suivi cette évolution il demeurera de toute évidence que ce sont des caractères exclusivement dus à la tachygénèse qui distinguent les trois grandes classes des *Rhizophytes*, ou végétaux pourvus de racines et de vaisseaux : les Cryptogames, les Gymnospermes et les Angiospermes. Il est évident que ces trois classes se sont caractérisées successivement dans l'ordre que nous venons d'énumérer et n'ont pas pu apparaître sur la terre autrement que dans cet ordre. Mais la tachygénèse poursuit son œuvre chez les angiospermes. Les feuilles reproductrices d'un même sexe sont groupées toutes ensemble chez les gymnospermes et disposées en une hélice serrée constituant ce qu'on appelle un *cône*; il y a des cônes femelles et des cônes mâles, en général réunis sur le même arbre; les conifères sont dites, pour cela, monoïques. Les plantes angiospermes qui en sont dérivées directement devront avoir, comme elles, des fleurs réduites à l'essentiel; celles d'un même sexe devront être groupées toutes ensemble, soit sur le même arbre, soit sur deux arbres séparés. C'est, en effet, ce qu'on observe dans la grande famille des Amentacées dont les fleurs sont groupées en *chatons* unisexués, où elles peuvent être réduites, comme chez certains saules, à deux étamines protégées par une simple écaille.

Comment a-t-il été possible de passer de ces chatons aux fleurs proprement dites dont les plus parfaites, au sens où l'entendent les botanistes, sont constituées par quatre verticilles, deux de feuilles stériles : le *calice* dont les feuilles demeurent généralement vertes, et la *corolle* dont les feuilles sont le plus souvent colorées; deux de feuilles fertiles, toujours disposées dans le même ordre : un verticille de feuilles mâles, les *étamines*,

surmontant la corolle ; un verticille de feuilles femelles, les *carpelles* terminant le rameau floral? Le mécanisme de cette transformation n'apparaît pas au premier abord ; toutefois, en tenant compte de ce que nous savons de la nature des sexes, il est possible de l'entrevoir. En premier lieu, le sexe n'est pas, comme on serait tenté de le croire, d'après ce qui se passe en général, quelque chose d'absolu. Nous avons vu qu'entre les éléments mâles et les éléments femelles il y a surtout une différence d'aptitude à la nutrition. Or cette différence peut être provoquée par le degré d'intensité de la nutrition chez les individus qui produisent ces éléments. Une simple transplantation suffit parfois pour faire passer du sexe féminin au sexe masculin les *Thladianta dubia* (Blavet), *Trœnosperma ficifolia, Dioscorea canariensis*, *Clematis Hilarii* (Spegazzini, 1900). On a obtenu le même résultat par la section de la tête chez un saule (*Salix capræa,* Haacke, 1896). La transformation inverse a été réalisée chez les saules (Klein, 1896); M. Edmond Bordage l'a vue se produire chez le papayer à l'île de la Réunion (1898); MM. Hariot (1902) et Davaul (1903) signalent qu'on produit couramment cette transformation, chez les palmiers dans les oasis du Sud algérien, en fendant longitudinalement de leur milieu jusqu'à leur gaine, toutes les feuilles des pieds âgés de deux ou trois ans. D'autre part, dans une série d'expériences des plus précises et des plus ingénieuses, M. Blaringhem (1) a constaté des résultats tout à fait frappants. En sectionnant de jeunes tiges femelles de mercuriale et d'épinard il a vu naître des rejets portant chacun des fleurs mâles et des fleurs femelles et il a transformé ainsi une plante dioïque en plante monoïque. Il a même pu aller plus loin : en mutilant des pieds de chanvre mâle, il a obtenu des fleurs hermaphrodites. Ses expériences sur le maïs ont fait apparaître nettement l'intervention de la nutrition dans ces phé-

(1) **XXXIX**, 124.

nomènes. Les tiges de maïs se terminent, comme on sait, par un panache d'épis mâles qui se caractérisent de bonne heure; plus tard, à l'aisselle des feuilles de la tige apparaissent, comme des branches latérales, les épis femelles enveloppés dans de larges bractées. On peut remarquer déjà que le panache mâle se caractérise à une époque où le jeune pied de maïs ne dispose que de racines peu étendues; sa nutrition est par conséquent peu active, la tachygénèse le fait apparaître trop tôt. Les épis femelles se développent, au contraire, quand le pied de maïs est en pleine activité. Ceci posé, M. Blaringhem coupe, à des moments différents de leur végétation, des pieds de maïs, supprimant ainsi le premier épi mâle et la plus grande partie de la tige, à ce moment exclusivement mâle, qui le portait. Cette tige est remplacée par de nombreux rejets latéraux qu'on peut considérer comme des tiges neuves. Si la section de la tige primitive a été faite au moment où les racines étaient peu développées, c'est-à-dire dans les conditions mêmes où se produit le panache mâle de cette tige, tous les rejets se terminent aussi par un panache exclusivement mâle. Quand on retarde l'époque de la section, à mesure que les racines prennent plus de développement, on voit apparaître, sur les rameaux du panache terminal des rejets, un nombre croissant de fleurs femelles; lorsqu'on attend jusqu'au voisinage de la période de croissance maximum de la tige, qui est évidemment une période où les racines déploient une grande activité nutritive, les panaches terminaux d'un certain nombre de rejets arrivent à ne plus porter que des fleurs femelles; enfin, quand la section a lieu pendant ou après la période de floraison, tous les rejets se terminent respectivement par un panache de fleurs femelles. M. Blaringhem a réussi également à obtenir la transformation des épis femelles de maïs en épis mâles. Il lui suffit pour cela de tordre la tige au-dessous du bourgeon terminal, en arrêtant ainsi le développement de ce bourgeon. Les bourgeons latéraux profitent de la nourriture

qu'il aurait absorbée et poussent activement. Au lieu de former un rameau court et épais dont les fleurs auraient été toutes du sexe féminin, ils s'allongent aux dépens de leur diamètre, tendent à se ramifier comme l'épi mâle et, finalement, produisent un certain nombre de fleurs mâles; on obtient, d'une manière plus constante, le même résultat en tordant soit le pédoncule de l'épi femelle, lui-même en voie de développement, soit cet épi en un certain point de sa longueur. Dans ce dernier cas la région tordue, moins bien nourrie, porte des fleurs mâles.

L'influence de la nutrition sur le sexe est ici bien évidente; mais ces opérations ne se bornent pas à agir sur le sexe des fleurs; elles confèrent aussi aux graines qui en naissent une aptitude particulière à se nourrir. Si on vient à semer les graines recueillies sur un épi mâle, l'épi terminal des jeunes pieds qui en sont issus contient normalement des fleurs mâles et des fleurs femelles; un facteur nouveau intervient dans l'évolution de ces jeunes sujets, l'*hérédité*.

On peut même arriver à faire apparaître dans la fleur des organes nouveaux, ce qui suppose qu'on en peut aussi supprimer. M. Blaringhem est parvenu, chez le maïs, à ajouter des carpelles aux fleurs mâles dont les étamines sont demeurées intactes, et à obtenir ainsi des fleurs hermaphrodites. C'est probablement ce qui s'est produit dans des transformations analogues observées sur les fleurs unisexuées d'un certain nombre d'autres plantes (1).

Voici donc un premier point acquis :

Le sexe des fleurs est nettement fonction de leur nutrition et nullement déterminé à l'avance, au moins chez un certain nombre d'entre elles. L'identité fondamentale des phénomènes de reproduction chez les animaux et chez les plantes, est un fait non moins incontestable et nous sommes, par con-

(1) *Triænosperma, Dioscorea, Clematis.*

séquent, autorisés à faire appel à ce qui est clair dans l'un des règnes pour l'appliquer à l'autre. Il y a, nous le verrons, des groupes d'animaux hermaphrodites ; mais, tandis que l'hermaphrodisme est la règle chez les plantes supérieures, il est l'exception chez les animaux, ce qui indique qu'il est d'apparition plus récente, et explique que ses causes soient plus faciles à apercevoir.

Les conditions dans lesquelles on observe l'hermaphrodisme dans le Règne animal s'accordent, en effet, pour établir qu'il est aussi lié à un trouble dans la nutrition; ce trouble a pour conséquence la disparition des mâles et la transformation des femelles en hermaphrodites. Cet hermaphrodisme se réalise d'une façon particulière : les cellules destinées à produire les éléments génitaux se forment de bonne heure et débutent pendant la période de croissance; tant qu'elles sont en concurrence avec les éléments du corps en voie de multiplication, elles évoluent vers le sexe masculin; quand la croissance est achevée, elles peuvent s'approprier toutes les substances nutritives, elles évoluent vers le sexe féminin. Il n'y a pas simultanéité, sauf, peut-être, dans une courte période transitionnelle chez certains animaux tels que les huîtres (1), dans le développement des deux sortes d'éléments génitaux. L'animal commence par être mâle, puis il devient femelle; c'est ce qu'on nomme l'*hermaphrodisme protandre*; l'autre cas peut se produire, mais il est tout à fait exceptionnel. Chez les cirrhipèdes et les nématodes on trouve parfois des *mâles surnuméraires*, inutiles, qui demeurent comme les témoins de ce mécanisme de la production de l'hermaphrodisme. Nous sommes donc autorisés à penser qu'il a pu en être de même dans le règne végétal : que dans des conditions nouvelles de nutrition, la végétation dans des terrains secs par exemple, alors qu'elle n'était d'abord possible que dans des sols très

(1) XII.

humides ou même marécageux, les chatons mâles, toujours présents chez les gymnospermes et les amentacées, ont disparu chez ces dernières, que les chatons femelles ont seuls persisté en devenant hermaphrodites, et, dès lors, l'explication de la forme habituelle des fleurs devient facile. On peut admettre que la formation hâtive et précipitée des feuilles fertiles, étamines et carpelles, dans le bourgeon floral dont l'évolution est particulièrement rapide a fait disparaître les ébauches des feuilles infertiles qui les accompagnent, en général, et se mélangent à elles de diverses façons dans le cône des gymnospermes. Ces feuilles sont, en effet, représentées par de petites écailles dans les chatons des platanes, par une ou deux glandes dans ceux des saules et des peupliers; elles font complètement défaut aux chatons femelles des bouleaux, à tous les chatons des myricinées, et chez les chênes, les noisetiers, les châtaigniers, les hêtres, les charmes, les chatons sont protégés par d'autres feuilles infertiles, qu'on appelle des bractées, qui se rassemblent à leur base et forment la cupule des glands, celle des noisettes surmontées par de longs appendices foliacés, la bogue des châtaignes et des faînes, l'enveloppe du fruit des charmes. Chez ces plantes, presque toutes de grands arbres ou des arbrisseaux, les fleurs n'ont encore ni calice, ni corolle. Nous laissons de côté, bien qu'ils démontrent aussi le caractère contingent des parties accessoires de la fleur, les cas où, comme chez plusieurs familles de monocotylédones, le périanthe, développé normalement chez les autres, s'est réduit, et a finalement avorté, comme c'est le cas pour les joncées, les cypéracées, les graminées, les naïadées, les lemnacées. Le cas des aroïdées est particulièrement intéressant parce qu'il nous montre comment les périanthes réduits d'un lot de fleurs groupées en épi peuvent être remplacés par une vaste bractée capable de prendre l'aspect des plus brillants périanthes.

Imaginons maintenant un chaton femelle composé de feuilles toutes fertiles, protégé à sa base par des bractées

stériles et qui, dans des conditions de nutrition insolites pour lui, lesquelles ont dû fréquemment se présenter à mesure que les végétaux devenaient plus exclusivement terrestres, serait comme il arrive souvent, en pareil cas, affecté d'accélération de développement, les premières feuilles fertiles formées au cours de l'élongation du chaton, celles qui occuperont sa base, seront en concurrence, pour leur nutrition, avec le chaton lui-même; comme dans les cas d'hermaphrodisme protandre des animaux, elles descendront à l'état de fleurs mâles, c'est-à-dire d'étamines; seules les feuilles fertiles du sommet du chaton, celles qui correspondent à la fin de sa croissance, conserveront leur sexe féminin, elles seront devenues des carpelles avec leurs ovules. La fleur des dicotylédones, telle que nous nous la représentons schématiquement, telle qu'elle est décrite dans tous les livres classiques de botanique, se trouvera ainsi constituée avec ses carpelles, au centre, formant le *gynécée* ou pistil; son cercle d'étamines constituant l'*androcée*; son cercle de feuilles stériles constituant le *périanthe*. Celui-ci est ordinairement double et comprend des feuilles colorées, qui forment la *corolle*, des feuilles demeurées vertes qui forment le *calice*. Pour expliquer ce fait, il faut avoir recours à un autre ordre de considérations. L'élaboration des éléments génitaux ne se produit pas sans qu'il en résulte la formation de composés spéciaux, produits de déchet qui sont déversés autour de ces éléments, entrent en contact avec les éléments voisins, soit par imbibition, soit par l'intermédiaire de l'appareil circulatoire. Les zoologistes et les médecins connaissent, depuis longtemps, l'influence sur l'organisme de ces produits de sécrétion interne, comme on dit aujourd'hui, et nous avons déjà indiqué à quel degré ils sont susceptibles de modifier la forme, les dimensions, la couleur des organes dans lesquels ils pénètrent et notamment ceux qui font partie des caractères sexuels secondaires. Cette action peut, au point de vue de la couleur, s'épuiser sur la corolle, mais elle peut aussi gagner le calice qui devient pétaloïde, notamment

chez beaucoup de monocotylédones (Colchicacées, Liliacées, Asparaginées, Orchidées, etc.), gagner même les bractées (diverses Sauges), ou les feuilles (*Poinsetia*) (1).

Naturellement, si telle a été l'origine des fleurs, les premières d'entre elles ont dû garder une trace de l'élongation primitive des chatons et de l'indétermination du nombre de leurs éléments; sépales, pétales, étamines, carpelles ont dû être d'abord en très grand nombre, en raison de leur commune origine, et être reliés par des transitions graduelles. Ces conditions sont, en effet, remplies chez un grand nombre de fleurs, soit pour la fleur entière, soit pour quelques-unes de ses parties, l'androcée ou le gynécée dont les éléments multiples sont disposés en hélice, comme les écailles d'un cône de sapin autour de son axe. Les magnolias, les nénuphars blancs (*Nymphea alba*), les camélias, les cactus ont ainsi des fleurs hélicoïdales à éléments nombreux où l'on peut constater le passage soit des sépales aux pétales (*Camelia*), soit des pétales aux étamines (*Nymphea*). Chez les roses ce sont les feuilles qui passent aux sépales; bien que ceux-ci soient au nombre de cinq seulement, ils se modifient graduellement; le nombre des pétales est aussi de cinq, tous semblables entre eux; les étamines, disposées en trois verticilles, se fixent au nombre de vingt, celui des carpelles est indéterminé, et ils sont disposés en hélice à l'intérieur d'une coupe creusée à l'extrémité de l'axe de la tige. Chez le fraisier, le framboisier, la ronce, l'axe est au contraire saillant, mais les carpelles gardent la même disposition. Le calice et la corolle sont verticillés et leurs éléments sont égaux entre eux chez les renoncules, les clématites, les anémones, etc., mais les étamines et les carpelles sont nombreux.

(1) Il se pourrait aussi que la cause de ces phénomènes fût inverse et que les bractées colorées, les calices pétaloïdes et les pétales dussent leur développement particulier à ce qu'ils arrêtent au passage les aliments qu'attirent vers elles les feuilles fertiles et profitent ainsi de leur surcroît d'alimentation, mais on peut se demander pourquoi ces parties ne deviennent pas elles-mêmes fertiles. Ce serait à l'expérience ou à l'analyse chimique de décider.

Ces derniers se réduisent en nombre et se soudent entre eux, tandis que les étamines demeurent nombreuses chez les pavots. Enfin, tout se régularise ; la tachygénèse raccourcit les axes qui supportaient les parties de la fleur ; celles qui sont de même nature naissent alors simultanément, la disposition hélicoïdale disparaît complètement ; sépales, pétales, étamines, carpelles forment autant de verticilles dont les parties, en même nombre, alternent d'un verticille à l'autre ; la fleur est dite alors *isomère*. La dernière réduction porte sur le gynécée qui peut être formé de moins de carpelles qu'il n'y a de parties dans les autres verticilles.

Une fois la fleur ainsi réalisée, d'autres causes peuvent la modifier : elle peut, par exemple, passer de la forme verticillée à une forme symétrique par rapport à un plan, comme on le voit dans les Papilionacées ; mais surtout, encore sous l'action de la tachygénèse, il peut arriver que les parties d'un même verticille se forment si vite qu'elles se soudent les unes aux autres, la corolle *dialypétale* devient ainsi *gamopétale* et la division primordiale des plantes dicotylédones, sur laquelle tout le monde est d'accord, se trouve ainsi relever, elle aussi, de la tachygénèse. La tachygénèse a d'ailleurs amené également, dans chacune de ces deux séries, la confusion de l'ensemble des carpelles avec la base des autres organes floraux, et déterminé, par suite, la réalisation de ce qu'on appelle un *ovaire infère*. De la sorte, dans chacune des deux sous-classes des dialypétales et des gamopétales, on distingue deux ordres : celui des Supérovariées et celui des Inférovariées. Il est clair, d'après cela, que les dicotylédones gamopétales n'ont pu se montrer qu'après les dialypétales.

Nous arrivons ici à un point délicat sur lequel, faute d'avoir envisagé les considérations sur lesquelles nous venons de nous appuyer ou parce qu'ils les ont négligées, les anciens botanistes ont commis une erreur d'appréciation dont quelques-uns des botanistes actuels sont en train de revenir. L'opinion

s'est répandue que les monocotylédones sont inférieures aux dicotylédones et ont dû apparaître avant elles, ce que l'on s'est effectivement préoccupé d'établir; mais pour peu qu'on applique aux fleurs des monocotylédones les principes incontestables qui découlent de l'étude des dicotylédones, on sera bien vite convaincu que, loin d'être des fleurs primitives, ce sont les plus perfectionnées de toutes les fleurs. Tout d'abord, comme les fleurs des dicotylédones les plus élevées, sauf de peu nombreuses exceptions (1), elles sont presque toutes isomères et construites sur le type 3, c'est-à-dire qu'elles ont 3 sépales, 3 pétales, 3 ou 6 étamines et 3 carpelles. Elles comptent parmi les plus brillantes; très souvent, ce qui est rare parmi les dicotylédones, leur calice est aussi éclatant ou même plus éclatant que leur corolle; elles sont souvent symétriques par rapport à un plan médian, au point de ressembler à des abeilles ou à des papillons comme beaucoup d'orchidées (2), et quelquefois leur androcée subit une réduction qui témoigne d'une altération du type général, postérieure à la réalisation de ce type. Les monocotylédones à petites fleurs, comme les joncs, les carex, les graminées, ne sont pas, parce que leur fleur est petite et verte, plus primitives que les autres; elles sont isomères comme elles; et celle des graminées a éprouvé des modifications profondes de ce type isomère déjà récent par lui-même.

La structure de leur fleur ne peut donc laisser aucun doute sur le caractère relativement élevé des monocotylédones; ce qui a fait naître une opinion contraire, c'est que la structure de leur tige rappelle, à certains égards, celle des cryptogames vasculaires; mais les monocotylédones sont des plantes angiospermes qui n'ont pu acquérir ce caractère qu'en passant par l'état de gymnospermes; or la tige des gymnospermes connues a déjà dépassé de beaucoup la structure primitive de celle des

(1) Les Centrolépidées, propres à l'Australie, et les plantes des familles des Lemnacées, des Naïadées, toutes flottantes ou submergées et chez qui ce genre de vie très spécial concorde avec une incontestable dégénérescence de la fleur.

(2) Ophrys mouche, O. abeille, O. frelon, etc.

cryptogames vasculaires. Il faut donc avoir recours à une autre interprétation. Les monocotylédones paraissent avoir été, au début, des plantes vivant dans les lieux humides et marécageux ou même dans l'eau, comme l'indiquent leurs feuilles lisses, entières, épaisses, à nervures parallèles. Beaucoup sont encore dans ce cas ; il suffira de citer les joncs, les carex, le riz, les iris, les arums, les roseaux, les bambous, les zostères, les potamots, les lentilles d'eau, etc. ; les palmiers eux-mêmes ne viennent pas, comme on le dit volontiers, dans le désert, mais dans les oasis bien arrosées du désert, ce qui n'est pas la même chose. La tige des ancêtres des plantes monocotylédones mal soutenue, comme nous allons le voir, par un sol mou, s'est couchée et transformée en rhizome, comme celle des cryptogames vasculaires, et c'est sur ce rhizome que se sont reconstituées des tiges aériennes par un procédé analogue à celui qui a formé la tige des fougères et celle des prêles, auxquelles elles ressemblent, dès lors, tout naturellement. Ces plantes des marécages sont dans les meilleures conditions possibles pour se fossiliser. Il ne serait donc pas étonnant qu'elles se soient plus facilement conservées que les dicotylédones, qu'elles puissent même être découvertes dans des couches qui n'ont pas encore fourni de dicotylédones. M. Lignier a décrit, en effet, sous le nom de *Propalmophyllum*, des bases de feuilles jurassiques qu'il suppose avoir appartenu à des monocotylédones.

Il serait vain de chercher à systématiser la forme essentiellement variable avec les circonstances des champignons, des algues, des hépatiques et même des mousses. On ne peut guère saisir chez elles d'unité organique plus élevée que les plastides ; toutes les parties du corps, si compliqué que celui-ci paraisse, ont la même valeur ; aucune ne peut être considérée comme ayant une individualité particulière. Il n'en est plus de même chez les plantes vasculaires. Si l'on considère un tronc de fougère arborescente, de cycadée, de palmier, il semble évident, à première vue, qu'il est formé par la concrescence des

pétioles des feuilles, et on a beaucoup discuté sur cette manière de voir. Il n'en est pas de même chez les plantes dicotylédones, dont la tige, loin de devoir son origine aux feuilles, semble, au contraire, les produire. On en a conclu que le mode de formation du tronc à l'aide de pétioles concrescents n'était qu'une illusion ; il eût été plus logique de prendre comme point de départ l'indication, très évidente, fournie par les fougères, et de rechercher comment ce mode initial de formation du tronc avait pu donner naissance à la structure propre au tronc des Gymnospermes et des Angiospermes dicotylédones. L'indication, donnée par les fougères, les cycadées et les palmiers s'étend d'ailleurs plus loin : il suffit d'examiner une jeune branche de conifère pour la retrouver. Sans discuter à fond ce problème, nous ferons remarquer que l'ordre de formation des organes est souvent interverti par la tachygénèse, et qu'il y a plus d'un exemple que, lorsque des organes nés séparément se fusionnent, l'organe nouveau résultant de leur fusion se forme, au cours du développement embryogénique, avant les parties demeurées libres, qui semblent alors naître à ses dépens. C'est le cas notamment pour le rein primitif ou pronéphros des vertébrés. Cette remarque rend toute sa valeur à la théorie de Gœthe qui voulait voir, dans tout végétal, une association de feuilles, dans la feuille une sorte d'individu qui construit le végétal en se répétant indéfiniment et qui, en se transformant, donne naissance à toutes les parties de la fleur. Ce que Gœthe avait deviné par la seule considération des plantes à fleur, a été démontré depuis par l'étude des cryptogames vasculaires, dont les feuilles, d'abord toutes semblables entre elles, toutes également capables de porter des sporanges, se divisent ensuite en deux types de forme différente : les feuilles stériles et les feuilles fertiles qui, chez les lycopodes et les prêles, se groupent à l'extrémité des branches ou des tiges et préparent la formation des cônes des conifères, préface de la fleur.

CHAPITRE IV

LES FORMES PRIMITIVES THÉORIQUES DES ANIMAUX
ANIMAUX RAMIFIÉS ET ANIMAUX SEGMENTÉS

L'aptitude à se déformer et à se mouvoir, que possèdent les animaux réduits à un seul élément anatomique ou plastide, a permis à ces éléments d'acquérir une variété de formes infiniment plus grande que celle qu'on observe à l'étage correspondant du règne végétal. D'autre part, ces plastides une fois associés, se sont réciproquement modifiés et solidarisés beaucoup plus vite que ne l'ont fait les plastides végétaux. Il s'ensuit qu'à côté des êtres unicellulaires qui constituent le grand groupe des Protozoaires, correspondant au *type de structure* le plus simple, il n'y a pas, dans le règne animal, d'organismes volumineux offrant la structure homogène des Algues et des Champignons supérieurs. Tout de suite on passe des Protozoaires à des organismes déjà compliqués; mais les Protozoaires revêtent des formes d'une variété infinie et abondent partout. On les répartit en trois grands groupes : les Rhizopodes, les Infusoires et les Sporozoaires.

La substance du corps des premiers a une consistance si voisine de celle de l'eau, que la surface des grumeaux qu'elle constitue cède aux plus légères attractions; elle est constamment comme effilochée, frangée, ou lobée, et les émergences *temporaires* qui se dégagent de sa masse portent le nom de *pseudopodes*, ce qui veut dire *fausses-pattes*. Ces pseudopodes, lorsqu'ils sont très ramifiés, peuvent souder les unes aux autres leurs fines

ramifications; ils sont ainsi entourés d'un réseau vivant. Deux classes de ces RHIZOPODES RÉTICULÉS ont joué un grand rôle dans toutes les périodes géologiques, et abondent encore de nos jours dans toutes les mers : les RADIOLAIRES à squelette souvent siliceux, et les FORAMINIFÈRES à coquille généralement calcaire. Les premiers sont flottants et on retrouve les débris de leur squelette jusque dans les dépôts algonkiens; les seconds vivent plus près du fond ou sur le fond. Ils ont formé, à diverses époques, presque à eux seuls, des dépôts d'une grande épaisseur. Chez les autres Rhizopodes moins importants, les pseudopodes ne se soudent pas; ils ont la forme de simples lobes arrondis chez les Amibes.

Nous arrivons ainsi aux Infusoires, dont le corps ne se déforme que fort peu et qui se meuvent à l'aide d'appendices *permanents* — que l'on appelle *fouets* ou *flagelles vibratiles* quand ils sont longs et peu nombreux, *cils vibratiles* quand ils sont courts, nombreux et disposés en toison ou en franges. Les Infusoires n'ont pas laissé de traces dans le passé. Certains flagellifères sont cependant intéressants, parce que des éléments qui leur ressemblent de tous points sont chargés de faire circuler l'eau dans les canaux intérieurs des éponges. C'est le seul cas où une ressemblance aussi frappante ait été constatée entre des protozoaires libres et des éléments faisant partie intégrante d'un organisme.

Les Infusoires ciliés, tout petits qu'ils soient, car les plus grands atteignent à peine quelques dixièmes de millimètre de longueur, présentent un intérêt d'un autre ordre : leurs formes semblent obéir déjà aux règles qui dominent celles des organismes supérieurs. Leur cuticule légère est percée de deux orifices qui fonctionnent comme ceux du tube digestif des animaux supérieurs, l'un pour l'entrée des aliments, l'autre pour l'expulsion des résidus de la digestion. Ces orifices peuvent être terminaux, et alors l'animal est symétrique par rapport à l'axe qui les unit; les cils vibratiles forment une toison continue

(*Holophrya*) ou se disposent en une série de couronnes transversales (*Didinium*) ; l'animal est alors essentiellement nageur ; mais le plus grand nombre des infusoires sont capables de courir à la surface des conferves, des menues algues ou même du sol ; ils ont, dans ce cas, une face ventrale aplatie sur laquelle se transporte la bouche. Celle-ci est légèrement excentrique, sans quoi les courants symétriques engendrés par les cils vibratiles glisseraient autour d'elle, sans rien lui apporter ; sa position excentrique et la saillie que fait au-devant d'elle la plus large des parties latérales de la région antérieure du corps qu'elle sépare, fait que les courants porteurs de particules alimentaires viennent butter contre elle et lui cèdent ces particules. Les cils vibratiles qui l'avoisinent sont d'abord semblables aux autres (*Paramecium*), mais, comme si par l'usage constant et intensif qu'en fait l'animal ils se renforçaient, ils grandissent plus que les autres et forment une *frange adorale* qui peut venir se contourner en spirale autour de la pseudo-bouche (*Spirostomum*), ou être simplement oblique (*Bursaria*). Enfin, quand l'infusoire devient essentiellement marcheur, les cils de sa face dorsale s'atrophient, comme par défaut d'usage, et les cils de la face ventrale prennent des formes particulières (crochets, stylets, cirres, rames, etc.), adéquates à la fonction qu'ils remplissent. Évidemment, on ne saurait faire intervenir chez un infusoire quoi que ce soit de comparable à la volonté, pour déterminer l'usage ou le défaut d'usage des organes, ni aucun sentiment de besoin ; ce sont des stimulations extérieures qui déterminent la mise en mouvement de certains cils plutôt que d'autres, la contraction ou le relâchement de telle ou telle partie du corps ; mais l'usage et le défaut d'usage, quoique déterminés par une autre cause, ont eu les mêmes effets que chez les animaux doués de sensibilité et de volonté. Cette action purement mécanique apparaît nettement chez les *Stentor*, grands infusoires pourvus d'une frange adorale, analogue à celle des Spirostomes, et d'une sorte de ventouse postérieure qui leur

permet de se fixer momentanément. Les cils de la frange adorale, quand l'animal est libre, fonctionnent comme des rames qui l'entraînent en avant; quand il est fixé, ils attirent fortement à eux le corps de l'animal qui, retenu en arrière, s'allonge en une sorte de pavillon de trompette dont la frange adorale borde la base. Cette forme devient définitive chez les Vorticelles, qui sont fixées d'une façon à peu près permanente.

Entre les infusoires libres et les infusoires fixés il existe, au point de vue de la multiplication, une intéressante différence. Tous les infusoires ciliés se multiplient par division, et la bipartition est le type habituel de ce mode de multiplication. Cette bipartition se produit transversalement chez les infusoires libres, longitudinalement chez les Vorticellides, de sorte que, dans le premier cas, les deux nouveaux infusoires sont placés l'un derrière l'autre, et l'un à côté de l'autre dans le second. Or la séparation des nouveaux individus se fait tardivement ou même pas du tout chez certaines espèces; il se constitue, dans le premier cas, une chaîne d'individus qui rappelle le corps divisé en anneaux des vers annelés (*Anoplophrya, Oplitophrya, Opalinopsis*), dans le second cas une sorte de petit arbrisseau (*Zoothamnium*, *Carchesium*, *Epistylis*). Nous retrouverons les mêmes formes, liées aux mêmes conditions d'existence, chez les animaux supérieurs.

Géométriquement, un œuf flottant dans un milieu homogène tel que l'eau, doit, en se segmentant, arriver à produire une sphère creuse dont la paroi serait constituée par une seule assise de blastomères. C'est, en effet, à peu près, ce qui arrive quand aucune influence héréditaire ou autre ne vient troubler le phénomène. Il y a des organismes qui demeurent à peu près à cet état toute leur vie (*Volvox, Protospongia, Magosphœra*, etc.); un assez grand nombre d'embryons d'animaux supérieurs revêtent momentanément cette forme à qui le nom de *blastula* a été donné. Le plus souvent elle est rapidement dépassée. Les *blastula* sont d'ordinaire couvertes de cils vibra-

tiles. Il serait bien extraordinaire que la puissance de ces cils et leur activité fussent rigoureusement égales tout autour d'une blastula : s'il en était ainsi, elle ne ferait que tourbillonner autour de son centre ; en fait, il y a toujours une région où les cils sont plus actifs, et ceux-ci entraînent l'embryon dans leur direction ; la blastula a, dès lors, une extrémité antérieure, une extrémité postérieure ; elle s'allonge suivant son axe de locomotion et devient ovoïde. L'extrémité antérieure active est une région de consommation des réserves contenues dans les cellules constituantes de la blastula ; ces réserves demeurent accumulées dans la région postérieure, inactive ; il se fait donc un appel incessant en avant des substances qui les constituent. Il en résulte la formation d'un courant qui amène la moitié postérieure de la blastula à s'invaginer dans la moitié antérieure. Ainsi s'explique un des processus les plus fréquents de l'embryogénie.

La *blastula* est alors devenue une *gastrula* ; son hémisphère antérieur, formé de cellules claires, demeure externe et prend le nom d'*exoderme* ; son hémisphère postérieur, formé de cellules granuleuses, en raison des réserves qu'il contient, devient intérieur et prend le nom d'*entoderme* ; l'orifice nécessairement postérieur résultant de l'invagination est le *blastopore*. Dans l'espace vide qui sépare l'exoderme de l'entoderme pénètrent des éléments flottants, en général détachés de l'entoderme ; ils peuvent emplir tout cet espace, ou s'accoler en partie sur la face interne de l'exoderme, en partie sur la face externe de l'entoderme, de manière à laisser entre eux un vide ; ce vide est le *cœlome* ou cavité générale, et les éléments qui s'intercalent entre l'exoderme et l'entoderme constituent le *mésoderme*. L'entoderme circonscrit une cavité digestive primitive qui, dans le cas où il existe un cœlome, se met, en général, en communication avec l'extérieur par un second orifice opposé au blastopore et qui devient la bouche.

Nous pouvons dès maintenant concevoir trois types d'orga-

nismes simples auxquels nous conviendrons de donner le nom de *mérides*. Ces mérides se fixent à cet état ou demeurent libres. Dans le premier cas, ils deviennent respectivement le point de départ de trois grands types d'organismes ramifiés : les ÉPONGES, à mésoderme plein, les POLYPES, sans mésoderme; les BRYOZOAIRES, à mésoderme creusé d'un cœlome (1). Ces trois types d'organismes ont dû se constituer simultanément dès les premiers temps où la vie a pris possession du Globe.

Les Éponges actuelles ont la propriété de former dans leurs tissus de petites concrétions minérales, de forme nettement déterminée et qu'on appelle leurs spicules. Ces spicules peuvent être siliceux, calcaires ou remplacés par des fibres d'une substance analogue à la soie, la *spongine*. Les plus anciennes éponges paraissent avoir été pourvues de spicules siliceux à six branches rectangulaires; nos mers en nourrissent encore, elles constituent la famille des HEXACTINELLIDÆ. Les Polypes et les Bryozoaires peuvent aussi déposer dans leur tissu des substances minérales, mais c'est toujours du calcaire; ils ont été les artisans des dépôts calcaires des premiers âges. Les Bryozoaires n'ont eu qu'une destinée des plus modestes. Les Polypes ont, au contraire, de tout temps, joué un grand rôle : il est important, dès lors, de préciser les rapports qu'ils présentent entre eux.

Une des formes les plus simples sous lesquelles on puisse observer ces animaux est l'Hydre d'eau douce que les travaux de Trembley ont rendue célèbre, et il est difficile de concevoir une organisation animale plus primitive. L'hydre d'eau douce est un cornet de six à sept millimètres de long qui se fixe par

(1) On peut désigner ces mérides têtes de lignes sous les noms de *spongomérides*, *hydromérides* et *bryomérides*. Ces derniers ne diffèrent que parce qu'ils se fixent, des mérides qui ont donné naissance aux Artiozoaires ou tout au moins aux Vers annelés et à leurs dérivés, C'est en partie ce qui a conduit à réunir les Bryozoaires, les Brachiopodes et une partie des Géphyriens dans un groupe artificiel des VERMIDIENS qui contient à la fois des formes primitives et des formes dégénérées.

sa pointe aux feuilles submergées, et dont l'ouverture, servant à la fois de bouche et d'anus, est entourée de tentacules capables de saisir de menues proies : petits crustacés, petits vers, etc. Quand elle a atteint une certaine dimension, l'hydre cesse de croître en demeurant semblable à elle-même ; mais elle produit latéralement et successivement de petites protubérances ou bourgeons, dont chacune se développe pour former une hydre nouvelle, en tout semblable à l'hydre mère; la nouvelle hydre se détache, et mène une vie indépendante, comme le ferait une bouture détachée d'un végétal. A une température moyenne d'une vingtaine de degrés, une hydre abondamment nourrie bourgeonne avec une grande activité; les hydres nées de ses bourgeons ne se détachent que tardivement et après avoir elles-mêmes bourgeonné. Trembley a ainsi obtenu une hydre qui en portait dix-neuf autres, appartenant à trois générations différentes. Ce qui est exceptionnel chez l'hydre ordinaire devient l'état normal chez la plupart des innombrables espèces marines qui, avec l'hydre d'eau douce, constituent la grande classe des HYDROÏDES. Leur corps est généralement soutenu par un mince revêtement de consistance cornée, constituant le polypier; un de ces hydroïdes a réussi à s'acclimater dans les eaux douces; on peut le récolter dans la Seine : c'est le *Cordylophora lacustris*. Les hydroïdes, fixés comme les plantes, se développent comme elles en bourgeonnant latéralement et en se ramifiant ; ils revêtent l'aspect de petites arborescences, dont les rameaux sont formés d'hydres comme le végétal primitif était formé de feuilles. Les hydres, en demeurant associées, ont constitué un organisme nouveau, qui est à chacune d'elles ce qu'un rosier est à ses feuilles, ce que l'hydre elle-même est aux plastides qui la composent, et qui s'est formé par le même mécanisme: l'association de parties semblables entre elles, capables de mener chacune une vie indépendante, mais qui aliènent, par le fait même de cette association, une partie de cette indépendance.

Disons tout de suite que ce mécanisme, que nous avons vu à l'œuvre dans le règne végétal, est aussi général dans le règne animal. Il convient dès lors de donner un nom aux formes organiques correspondant aux étapes successives de cette complication : nous avons appelé *plastides* les plus simples éléments vivants, longtemps appelés *cellules* à la suite des observations incomplètes des premiers histologistes ; nous avons appelé *mérides* les organismes résultant de l'association des plastides ; les hydres sont par conséquent des mérides ; nous appellerons *zoïde* une association de mérides ; et comme nous rencontrerons aussi des associations de zoïdes, nous leur attribuerons la qualification particulière de *dèmes*. Ces mots suffisent à exprimer tous les stades de l'évolution organique. Leur brièveté permet de les employer comme suffixes pour former des mots composés : spongoméride, hydroméride, bryoméride, — spongozoïde, hydrozoïde, bryozoïde, — spongodème, hydrodème, par exemple. Il arrive quelquefois qu'il se forme dans un dème des groupements capables de se libérer et de mener une vie indépendante (Siphonophores) ; nous les nommerons des *démules*.

Dans ces associations, les parties composantes jouissent d'abord d'une indépendance presque complète, qui avait conduit à les considérer comme constituant des corps d'un type spécial — auxquels on donnait le nom de *colonies*, pour les opposer aux organismes ordinaires ; et l'on admettait — ce qui était purement arbitraire — que chaque méride d'un zoïde, chaque zoïde d'un dème, conservait une individualité propre, le zoïde et le dème en étant eux-mêmes dépourvus ; mais, comme dans les associations de plastides, la diversification des formes et des fonctions des mérides amène dans les zoïdes une solidarité croissante, qui a conduit, par toutes les transitions possibles, à leur transférer cette notion d'indivisibilité et d'unité que nous avons puisée dans notre conscience et que nous avons transportée aux animaux supérieurs et aux plantes elles-mêmes.

En fait, tous les hydromérides constituant un hydrozoïde conservent assez d'indépendance pour revêtir, suivant leur position, les conditions de leur nutrition, les excitations auxquelles ils sont exposés, des formes diverses correspondant, en général, chacune à une fonction particulière, sans que cela soit pourtant indispensable. Contrairement à l'opinion exprimée dans cette phrase banale que l'on emploie à tort et à travers, justement parce qu'elle ne répond à rien : « *La fonction crée l'organe* », les hydromérides chez les hydroïdes se modifient indépendamment de toute fonction; ils font ensuite ce que leur forme et leur position leur permettent de faire, et ce qu'ils font devient ainsi une fonction dont chacun d'eux est naturellement l'organe. A côté des mérides normaux, qui conservent leur bouche, mangent et digèrent, et qu'on peut appeler *gastromérides*, se trouvent d'autres mérides qui, pouvant s'en remettre à ces mérides nourriciers de leur alimentation, demeurent privés de bouche; ils sont aptes à saisir et à palper; ce sont des *dactylomérides* qui fonctionnent comme des lignes, des *filaments pêcheurs*, et peuvent revêtir diverses formes. D'autres se transforment en épines défensives grâce à leur revêtement corné : ce sont des *acanthomérides*; d'autres encore se trouvent placés dans des conditions telles, que, dans les bourgeons qu'ils produisent, se développent rapidement les éléments génitaux : ce sont les *gonomérides*, porteurs des *gamomérides*, dont les uns sont mâles et les autres femelles. A. de Quatrefages a le premier décrit tout ce petit monde si varié chez les Hydractinies qui enveloppent les coquilles habitées par les Bernard-l'Ermite. Mais cette variété des formes associées, qui correspond souvent à celle que présentent les feuilles chez un végétal, est extrêmement répandue chez les hydroïdes, et elle conduit aux mêmes résultats. Lorsqu'en un point donné de l'hydrozoïde, se développe un gamoméride ou méride sexué, il détermine la transformation des mérides voisins en dactylomérides. Ceux-ci arrivent à se développer en un même verti-

cille, et ce verticille est formé de quatre mérides pour cette simple raison que, sur une circonférence, on ne peut placer qu'un peu plus de trois fois son diamètre. Ces dactylomérides ne peuvent se replier sur le gamoméride qu'ils entourent, sans tirer à eux le pourtour de son pédoncule sur lequel ils s'insèrent; il se forme ainsi nécessairement une palmure en forme de clochette, dont le gamoméride constitue le battant. Les parois de la clochette contiennent des muscles qui lui permettent de se contracter, de chasser brusquement l'eau qui l'emplit; le recul produit par la brusque expulsion de cette eau a pour effet de tirailler le support qui, partant de son sommet, l'unit à l'hydrozoïde; ce pédoncule finit par se rompre et la clochette est mise en liberté. Elle comprend un gamoméride pourvu d'une bouche et capable de digérer, une ombrelle qui sert d'organe de natation, quatre filaments pêcheurs, tout ce qu'il faut pour mener une vie indépendante; elle est libre désormais de vivre à sa guise. Un type nouveau d'organisme, véritable fleur animale, s'est constitué; cette fleur animale est une *méduse*. Les méduses peuvent demeurer attachées à l'hydrozoïde qui les a produites et qui passe alors au rang d'hydrodème puisqu'elles sont elles-mêmes des hydrozoïdes; leur mode de formation est souvent affecté de tachygénèse et elles demeurent parfois incomplètes.

Au lieu de se fixer à un corps solide, certains hydromérides, entraînés par leur légèreté vers la surface de l'eau, trouvent moyen d'emprisonner une bulle d'air qui leur sert désormais de support. Les hydrodèmes qui résultent de leur développement demeurent flottants, et agissent ensemble comme le ferait un poisson poursuivant et capturant des proies. Gastromérides, dactylomérides, méduses, revêtent alors les formes les plus diverses; un certain nombre de méduses contiguës s'emploient comme une équipe de rameurs à la locomotion, et par un phénomène de tachygénèse, ces méduses, dont la fonction est indispensable, se développent même avant les gastromérides. Rien n'égale la vivacité des couleurs, la richesse et

la variété des formes de ces hydrodèmes nageurs qui constituent la classe des SIPHONOPHORES. Ce sont de véritables organismes autonomes; ils sont la preuve évidente que ce qu'on appelait jadis une colonie n'est que la première phase de la formation des organismes supérieurs.

L'avance que prennent les méduses dans le développement des Siphonophores peut être prise de même chez les hydrodèmes fixés. On en peut dresser les étapes jusqu'au moment où le développement de l'œuf aboutit, non à un hydroméride produisant lui-même un hydrodème, mais directement à une méduse. La suppression graduelle de l'hydrodème équivaut ici à la suppression graduelle du prothalle chez les cryptogames vasculaires. Ces méduses indépendantes de tout hydrodème, mais dont la formation a été préparée et n'a pu se produire que grâce à une longue élaboration par une série d'hydrodèmes, subissent elles-mêmes d'importantes modifications, se compliquent diversement, arrivent à atteindre plusieurs décimètres de diamètre. Elles forment la classe des ACALÈPHES qui comprend elle-même plusieurs ordres (1) et constituent un premier terme d'aboutissement de la série des hydroïdes.

Il y en a un second, plus important encore, réalisé par le Corail en passant par les Madrépores, puissants constructeurs de récifs. Déjà certains hydroïdes voisins des Hydractinies sont capables de sécréter du calcaire. Cette propriété est générale chez les Hydrocoralliaires — bien étudiés par Moseley, au cours de l'expédition du *Challenger*. Chez ces Hydrocoralliaires on peut suivre, des Échinopores, très voisins encore des Hydractinies, aux Millépores, aux Allopores, aux Stylaster et aux Cryptohélies, toutes les phases du groupement d'un certain nombre de dactylomérides autour d'un gastroméride, analogue à celui qui a donné naissance aux méduses; mais ici le gastroméride, au lieu de demeurer indépendant au centre de sa cou-

(1) XLIII, 640.

ronne de dactylomérides, s'est accolé à eux dans toute sa longueur et communique avec eux au moyen de fentes longitudinales qui leur correspondent. Il a perdu ses tentacules ; ce sont les dactylomérides qui les remplacent. Le tout constitue un coralliozoïde qui a été réalisé par un mécanisme analogue à celui qui a produit les fleurs dialypétales à ovaire infère.

Les Anémones de mer de nos côtes sont des coralliozoïdes qui ont perdu la faculté de produire du calcaire, propriété qui a permis aux autres coralliaires de jouer un rôle énorme durant les périodes géologiques et qui en fait encore de puissants modificateurs des côtes dans les régions tropicales. Dans la nature actuelle, chez presque tous les coralliozoïdes, les dactylomérides qui s'associent au gastroméride sont au nombre de 6 ou d'un multiple de 6 ; leur nombre peut demeurer fixe ou augmenter pendant toute la vie de l'animal. Des phénomènes d'accélération embryogénique, que j'ai exposés ailleurs (1), montrent comment les Madrépores construits sur le type 6 ont pu donner naissance au Corail et aux animaux qui composent avec lui la classe des Alcyonnaires. Ces animaux semblent être, au premier abord, des madrépores construits sur le type 8, mais ils sont, en réalité, très différents.

Au point de vue de l'histoire du développement de la vie sur la terre, nous ne tirerons, pour le moment, de tout ce qui précède que les conclusions suivantes : à côté des Éponges et des Bryozoaires, qui semblent s'être montrés peu plastiques, les Polypes ont rapidement évolué ; manifestement leurs formes primitives n'ont pu être que des polypes hydraires, mais de ceux-ci ont dérivé parallèlement et simultanément les Acalèphes et les Coralliaires. Bien que libres actuellement, les Acalèphes n'ont pu apparaître que sous des formes primitivement sédentaires qui les ont précédés, et qui se développaient en se ramifiant ; ils n'ont acquis que secondairement leur liberté dont

(1) **XLIII**, 753.

le facteur a encore été, on vient de le voir, la tachygénèse.

Pendant qu'évoluaient ces organismes issus des mérides fixés, se développaient simultanément les organismes issus des mérides libres. Ces derniers paraissent avoir exclusivement appartenu au type des mérides pourvus d'une cavité générale qui, en se fixant, ont donné naissance aux Bryozoaires. Il n'y avait pas de raison pour qu'en conservant leur liberté ils ne conservassent pas aussi la faculté de bourgeonner, mais la locomotion est un facteur important qui a modifié complètement les conditions de l'évolution. En effet, lorsque le méride initial demeure libre et se meut, la pesanteur, la locomotion et les conditions de recherche de la nourriture le font passer de la forme symétrique par rapport à un axe, qu'il pourrait conserver s'il nageait toujours suspendu dans l'eau, à la forme symétrique par rapport à un plan. Il faudrait, pour qu'il pût rester sans fatigue entre deux eaux, qu'il eût le même poids que l'eau qu'il déplace; que les substances qui le constituent, les unes plus lourdes, les autres plus légères que l'eau, comme les graisses, fussent strictement dosées de manière à lui conférer cette qualité: ce ne pourrait être qu'un cas exceptionnel. Plus léger que l'eau, il serait entraîné vers la surface, et exposé à toutes sortes d'accidents; c'est donc aux formes un peu plus lourdes et naturellement entraînées vers le fond que devait appartenir l'avenir. Dans ces conditions, le méride continue à s'allonger dans le sens de sa trajectoire; l'extrémité qu'il porte en avant, et qui doit explorer le terrain sur lequel elle engagera tout le reste du corps, devient différente de l'extrémité postérieure; ses éléments acquièrent une sensibilité de plus en plus grande, un bon nombre se transforment en éléments nerveux qui se distribuent sur des tentacules explorateurs ou se groupent pour constituer des yeux. Dans son voisinage, mais un peu en arrière, se trouve la bouche, que précède naturellement la région exploratrice. L'animal, ne fût-ce que par un tactisme sans

lequel il serait incapable de vivre, la tourne forcément vers le sol sur lequel il rampe, à la recherche de sa nourriture. La bouche caractérise ainsi une face ventrale, d'ailleurs aplatie par sa pression contre le sol, si légère qu'elle soit. Cette face ainsi que tout le pourtour de la bouche, étant constamment excitée par son contact avec le sol, le développement dans ces régions de nombreux éléments sensitifs finit par produire autour de cette dernière un anneau nerveux et, sur la face ventrale, une plage nerveuse. Peu à peu — et l'on peut suivre chez certains embryons toutes les étapes du phénomène — les éléments nerveux s'isolent de l'épiderme dont ils faisaient d'abord partie; ils arrivent à constituer, chez les adultes, le *collier œsophagien* et la *chaîne nerveuse* que l'on retrouve plus ou moins modifiés chez tous les Arthropodes, les Vers annelés, les Échinodermes et les Mollusques.

La locomotion a plus d'influence encore sur l'évolution ultérieure des protomérides mobiles que sur leur forme. Les raisons qui ont déterminé l'évolution par bourgeonnement des mérides fixés subsistent entièrement pour les mérides libres; seulement les bourgeons ne sauraient être arrangés de même. dans ceux-ci Il est évident qu'un organisme ramifié serait fort empêché de se mouvoir à reculons, tous ses rameaux se rebroussant en avant de sa tête; la marche en avant aurait pour conséquence d'appliquer contre le corps ces mêmes rameaux et de préparer leur soudure. Il n'y a pas de raisons pour que ces rameaux comprimés contre le corps se hissent à sa surface ou s'éloignent de lui latéralement, à moins qu'ils puissent être utilisés dans la locomotion, comme c'est le cas pour les appendices des Arthropodes, et ils ne se forment, chez ces animaux, qu'en raison de l'existence autour de leur corps d'une enveloppe rigide de chitine, ne permettant plus à celui-ci de contribuer par des mouvements d'ondulation à la natation ou à la reptation. En conséquence, le bourgeonnement se localise à la partie postérieure du corps, relativement inactive, plus

jeune et formée d'éléments non spécialisés. Les bourgeons nouveaux se placent en ligne droite en arrière des anciens, et tous ensemble constituent de la sorte un corps formé de segments placés bout à bout. Toutefois l'extrémité terminale postérieure du corps de l'embryon s'organise de bonne heure complètement en un segment spécial, constituant une véritable arrière-garde sensitive, propre à prévenir le jeune animal des contacts qu'il pourrait subir.

Ce dernier segment ou *telson* est toujours le second segment formé; les autres se développent immédiatement à son contact, de sorte que le plus jeune segment du corps est toujours l'avant-dernier. Ces quelques mots suffisent à établir la base de l'embryogénie de tous les animaux à corps segmenté : les Arthropodes, les Vers annelés et même les Vertébrés. Chez ces derniers les segments du corps dont les vertèbres marquent les limites se forment aussi un à un, à l'arrière du corps, en avant d'une région terminale correspondant au telson.

Les traits essentiels de l'évolution des animaux segmentés sont par cela même tracés. Ils ont commencé par être réduits à un seul segment qui, dès sa constitution, a pu bourgeonner à son extrémité postérieure, de sorte que la formation des animaux segmentés a pu être très précoce, très rapide. Il est possible que les mérides qui leur ont donné naissance fussent semblables au début, et que leurs téguments fussent extérieurement formés d'une assise de cellules portant des cils vibratiles; mais ce type initial s'est vite décomposé en deux autres. Dans l'un, les cellules superficielles ont produit un vernis solide (1), suffisamment épais pour engluer et faire disparaître les cils vibratiles; dans l'autre, les cils vibratiles disposés en toison ou en couronne ont persisté et ont constitué les organes primitifs du mouvement. A leur défaut, les mérides

(1) Constitué par une substance spéciale de consistance cornée, la *chitine*, dérivée de la cellulose par substitution à un ou plusieurs atomes d'hydrogène d'un radical azoté.

du premier type ont dû utiliser, pour se mouvoir, des bourgeons latéraux, mus par des muscles et pourvus de soies rigides, qui sont ainsi devenus des pattes; de ce type de mérides a pris naissance la longue série des Arthropodes. Le type cilié a produit la série des Vers annelés, qui ont en commun avec les Arthropodes tous les traits d'organisation résultant de leur aptitude au mouvement; aussi Cuvier les leur avait-il adjoints pour former son embranchement des Articulés; mais les deux séries diffèrent par toutes les conséquences qu'entraîne l'absence de cils vibratiles; elles ont évolué parallèlement, isolément, sans qu'aucun lien de parenté ait subsisté entre elles.

L'embryogénie nous donne une idée de ce que pouvaient être ces mérides primitifs. Tous les crustacés de la grande sous-classe des Entomostracés, quelle que doive être leur complication définitive, naissent sous la forme d'un petit organisme, le *nauplius*, ne possédant que trois ou même deux paires d'appendices qui entourent la bouche, servent d'abord à nager, et, en même temps, à retenir des proies à l'aide de crochets que porte leur hanche. Ces appendices, après avoir été employés simultanément comme pattes par leur extrémité libre et comme mâchoires par leur base, deviennent les deux paires d'antennes et les mandibules de l'adulte. Diverses espèces de crustacés supérieur sont continué à éclore à l'état de nauplius, notamment la grande Crevette caramote (1) que l'on mange sur le littoral de la Méditerranée. On a pu reconstituer l'embryogénie de certaines trilobites fossiles de la période primaire, les *Sao*, par exemple; elles naissaient aussi réduites à trois articles, les autres se formant successivement en avant du telson.

A leur naissance les Vers annelés marins, libres, dont le corps ne se divise pas en régions distinctes et qu'on a appelés Annélides errantes, naissent sous une forme plus simple encore,

(1) *Penæus scaramola.*

ne représentant strictement que le premier segment de l'animal adulte et le telson; c'est la *trochosphère*, réduite à un corps ovoïde barré de deux couronnes de cils vibratiles entre lesquelles se trouve la bouche.

A partir de ces stades initiaux on peut suivre, dans les deux séries des Arthropodes et des Vers, toutes les étapes par lesquelles une accélération embryogénique croissante, favorisée par l'accumulation dans les œufs d'une proportion de plus en plus grande de matériaux nutritifs de réserve, conduit au cas des formes supérieures qui se constituent entièrement dans l'œuf, éclosent avec le nombre total de segments qu'elles devront avoir, et souvent avec leur forme définitive. C'est la condition préalable qui a permis la réalisation des organismes capables de vivre dans les eaux douces ou sur la terre ferme et de respirer dès lors l'air atmosphérique.

Les deux séries d'animaux libres, segmentés, ont évolué naturellement, en même temps que les Algues, les Éponges, les Polypes, les Bryozoaires, de sorte qu'on peut admettre que les eaux se sont, dès le début, peuplées de formes très diverses, susceptibles de varier en tous sens, suivant les circonstances, parce qu'elles n'étaient soumises à aucune domination héréditaire et que, d'autre part, la lutte pour la vie étant peu active, il suffisait alors d'être capable de vivre pour faire souche : *tout ce qui était possible s'est fait*. C'est grâce à cette mollesse de la lutte pour l'existence que certaines déformations, en apparence désavantageuses, des types primitifs ont pu se produire et donner naissance à des formes presque monstrueuses qui sont arrivées cependant à tenir dans la nature actuelle une place des plus importantes. Comme il n'y a, au point de vue de la locomotion, que deux façons d'être, l'immobilité qu'assure la fixation à un corps étranger, ou le mouvement, il semblerait qu'il ne dût y avoir pour les animaux que deux types de structure, le *type ramifié*, lié à l'immobilité, et le *type segmenté*, lié à la locomotion. Il y en a cependant quatre autres : 1° celui des Echinodermes,

rayonnés sans être fixés; 2° celui des Mollusques, non segmentés, souvent enroulés en spirale ou en hélice; 3° celui des Tuniciers, fixés ou nageurs, mais sans segments ou rayons, type régressif dû à la dégénérescence, par suite de leur fixation au sol, d'animaux déjà parvenus à une organisation élevée et qui ne sont autres que des précurseurs des Vertébrés, précurseurs dont l'*Amphioxus* est le dernier représentant; 4° celui des Vertébrés, segmentés à la vérité, mais dont la structure intérieure paraît, au premier abord, tout l'opposé de ce qu'elle devrait être théoriquement chez un animal segmenté. Nous avons à déterminer maintenant comment de tels organismes ont pu se constituer.

CHAPITRE V

LES CHANGEMENTS D'ATTITUDE ET LES ANIMAUX REMANIÉS

Lorsque je tentai, dans mon livre : *Les Colonies animales et la formation des organismes*, d'expliquer comment avaient pu être réalisés les types divers du règne animal, il me fut assez facile, après avoir exposé l'histoire des animaux ramifiés et des animaux segmentés, d'établir, comme l'avaient d'ailleurs indiqué divers auteurs pour chaque embranchement en particulier, que les Vers annelés étaient, selon toute vraisemblance, les progéniteurs des Echinodermes, des Mollusques, des Vertébrés, et, par suite, des dérivés de ceux-ci par dégénérescence, les Tuniciers. Mais à ce moment-là, si j'avais déjà signalé l'importance de la tachygénèse, je n'avais pas encore saisi toutes les conséquences de ce mode d'action de l'hérédité, et d'autre part je n'avais pas aperçu une cause particulièrement puissante de modification des organismes, à savoir les *changements d'attitude* qui ont pu se produire, dans chaque espèce, au cours des âges.

Pour se convaincre de la réalité de ces changements, il suffit de jeter les yeux sur la série actuelle des formes vivantes. Parmi les Crustacés, les *Apus*, les Branchipes nagent constamment le ventre en l'air, le dos en bas ; il en est de même des Notonectes parmi les Insectes, et leur nom ne fait qu'exprimer cette attitude ; les Anatifes, parmi les Cirripèdes, se suspendent aux objets flottants, par leur extrémité céphalique qui s'étire en un long pédoncule, tandis que les Balanes, leurs sœurs, écrasent pour ainsi dire cette même extrémité contre les rochers aux-

quels elles adhèrent fortement. Dans l'embranchement des Tuniciers on observe le même contraste entre les Bolténies et les autres Ascidies, tandis que les Tuniciers redevenus nageurs conservent l'attitude normale. Chez les Échinodermes, les Oursins ordinaires se tiennent la bouche en bas, l'anus en haut, de sorte que les cinq fuseaux qui portent leurs organes de locomotion se dressent verticalement, comme les pétales d'une fleur, partant tous les cinq de la bouche pour aboutir au pourtour de l'orifice opposé. Mais il est des espèces qui vivent dans le sable, qu'elles fouissent incessamment; la région inférieure du corps de celles-là s'aplatit de manière à constituer une face ventrale, et la bouche s'avance peu à peu vers le bord de cette face que l'animal porte habituellement en avant; au-dessus d'elle un des fuseaux locomoteurs, qui devient le *fuseau antérieur*, monte vers le sommet du corps, autour duquel continuent à converger les quatre autres fuseaux devenus latéraux, tandis que l'anus abandonne ce sommet pour devenir franchement postérieur, et gagner finalement le voisinage du bord de la face aplatie contre le sol; celle-ci constitue ainsi une *face ventrale*, comprise entre les deux fuseaux latéraux les plus éloignés du fuseau antérieur. Les Holothuries, ou biches de mer, sont des échinodermes voisins des oursins, mais dont le corps, au lieu d'être globuleux, est allongé en boudin. Elles se logent souvent dans les anfractuosités des rochers ; sur le sol elles ne peuvent se tenir que couchées, les orifices du tube digestif occupant chacun une extrémité du corps. Un certain nombre d'espèces du littoral rampent cependant sur le fond ; elles acquièrent alors une face ventrale aplatie; cette face est toujours partagée en deux moitiés symétriques par l'un des fuseaux locomoteurs, et limitée par deux des fuseaux latéraux. Les choses se passent ici à l'inverse de ce qui a lieu chez les Oursins, où la face ventrale n'a pas de fuseau médian, tandis que la face dorsale en a un. Le mécanisme de la formation de la face ventrale est d'ailleurs bien différent dans

les deux cas. Les Holothuries à face ventrale ont deux façons de se comporter. Celles qui habitent les grands fonds vivent de vase; elles tournent leur bouche vers le sol en coudant l'extrémité antérieure de leur corps. D'abord temporaire le coude devient permanent, puis s'efface, et la bouche paraît ainsi franchement ventrale. Celles qui se fixent aux rochers tirent, au contraire, leur alimentation de l'eau ambiante et leur bouche devient dorsale (*Psolus*). Il y a plus: certaines holothuries vivent constamment enfouies dans le sable; il en est qui y demeurent allongées verticalement (1), mais d'autres courbent leur corps en U, comme pour rapprocher leur anus de la surface et évacuer leurs excréments, de manière à ne pas infecter le sable. Cette attitude, primitivement transitoire (2), se fixe également (3), si bien que les deux extrémités du corps, se rapprochant de plus en plus, arrivent à se souder en un tube unique percé au sommet de deux orifices; l'Holothurie a ainsi la forme d'une bouteille dont le goulot porte les deux orifices digestifs devenus contigus (4).

Les Mollusques sont au moins aussi accommodants, en ce qui concerne les attitudes. Les mollusques à coquille enroulée en spirale ou en hélice rampent sur leur face ventrale; mais tous ceux qui sont capables de nager, ne fût-ce que temporairement, nagent dans l'attitude inverse, le ventre en l'air le dos en bas. Il y a, en effet, des mollusques exclusivement nageurs (5); d'autres exclusivement rampants; d'autres qui nagent ou rampent suivant les circonstances.

Les mollusques à coquille bivalve ont des attitudes encore plus variées. Les Moules et les mollusques voisins se suspendent par des filaments qui constituent leur *byssus;* les Huîtres, les Peignes, les Spondyles, etc., vivent couchés sur le côté; les Bénitiers sont enfouis, couchés sur le dos dans les récifs de

(1) *Molpadia, Ankyroderma, Synapta.* — (2) Certaines *Cucumaria.* — (3) *Ypsilothuria.* — (4) *Rhopalodina* (LIV, 280). — (5) Nautiles, Ptéropodes, Janthines; larves de tous les Mollusques gastéropodes marins.

polypiers; les Clauvisses ou Vénus, les Couteaux, les Pholades et une foule d'autres s'enfoncent dans le sable ou dans des trous qu'ils creusent jusque dans la pierre, et demeurent immobiles, la tête, ou ce qui en tient lieu, en bas. A chacune de ces attitudes correspond une forme particulière du corps qu'explique facilement l'action continue de la pesanteur sur les diverses parties internes de ces êtres immobiles. Le corps des moules s'élargit dans sa région tournée vers le bas et s'appointit au voisinage du point d'attache au byssus; la valve inférieure des huîtres et des autres bivalves couchés sur le côté, primitivement symétrique de la valve supérieure, se renfle de manière à former une sorte de cassette dont la valve supérieure, aplatie jusqu'à devenir concave, n'est plus que le couvercle; les organes les plus pesants des bénitiers tombent au-dessous des moins pesants et gagnent le voisinage de la charnière de la coquille, de sorte que le mollusque paraît retourné dans celle-ci. Chez les espèces qui s'immobilisent dans des trous, le manteau s'allonge en deux longs siphons, l'un pour l'entrée de l'eau qui apporte à l'animal l'air respirable et les aliments, l'autre pour sa sortie. Ces modifications, sauf la dernière, ont été déterminées par l'action persistante d'une cause banale, la pesanteur, qui est aussi intervenue pour former la face ventrale des oursins bilatéraux et des holothuries abyssales.

Les Vertébrés n'échappent pas à ces changements d'attitude; l'*Amphioxus*, les Soles, les Turbots, les Limandes et les autres poissons plats dits pleuronectes demeurent couchés sur le côté; de ce fait ils deviennent dissymétriques, tout comme les mollusques qui vivent dans les mêmes conditions et portent leurs deux yeux sur un même côté du corps. Les Rémoras se fixent aux requins en appuyant contre le corps de leur hôte leur face dorsale qui fonctionne ainsi comme la face ventrale des autres animaux par rapport à la lumière et au sol; leur face dorsale se décolore et s'aplatit, tandis que leur face ventrale prend les caractères d'une face ventrale ordinaire. L'action des conditions extérieures

sur les formes et les couleurs se montre encore ici nettement.

Cette action apparaît d'ailleurs incessamment, pour peu que l'on cherche à rattacher les caractères des animaux aux conditions dans lesquelles ils vivent, au lieu de les considérer indépendamment de toutes les causes qui peuvent être invoquées, avec quelque vraisemblance, pour expliquer leur réalisation, comme s'ils étaient le fait du miracle. En voici quelques exemples. Les liens qui unissent entre elles les grandes divisions de la classe des Poissons (1) peuvent se résumer dans cette unique proposition : comprise entre la tête, à laquelle l'eau oppose une résistance quand le poisson nage, et le corps, projeté en avant par les brusques impulsions de la queue, la région branchiale se raccourcit constamment et finit par s'atrophier chez les Batraciens, leurs descendants. Un cou chez les vertébrés terrestres prend la place de la région branchiale disparue; il peut s'allonger énormément chez eux; mais quand ces vertébrés redeviennent aquatiques et nagent à la façon des poissons, leur cou, placé dans les mêmes conditions mécaniques, subit la même réduction, qu'il s'agisse de reptiles comme les Ichthyosaures des temps secondaires, d'herbivores devenus aquatiques comme les Lamantins et les Dugongs, de Phoques devenus plongeurs comme les Zeuglodons, ou des Cétacés qui descendent probablement d'une autre souche. Cette répétition du même phénomène dans les mêmes conditions, chez des vertébrés variés qui conservent d'ailleurs tous les traits d'organisation de leur groupe, montre bien que ces phénomènes sont dus à des actions extérieures, modifiant les parties du corps directement soumises à leur influence et respectant les autres; ce qui revient à dire que ces actions extérieures sont les causes des modifications qui concordent toujours avec elles. On retrouve cette concordance dans une infinité de cas. Les pattes des arthropodes nageurs, ne déterminant leur déplacement qu'à la condition de presser sur l'eau, s'aplatissent et se frangent de longs

(1) **XLIII**, 2469.

poils ; une palmure apparaît entre les doigts des pattes de tous les vertébrés marcheurs qui reviennent à l'eau, quel que soit le type auquel ils appartiennent : Batraciens anoures, Crocodiles, Tortues des étangs et des marécages, Oiseaux palmipèdes, Ornithorynque, Desman, Rat musqué, Castor, Vison, Loutres, Phoques, etc. De même, dans tous les groupes de vertébrés grimpeurs qui appuient leur ventre contre les troncs d'arbres, on trouve des espèces chez qui la peau des flancs a reflué sur les membres de manière à gagner jusqu'aux doigts, et le fait se reproduit chez les Pétauristes qui sont des marsupiaux, les Microcèbes qui sont des lémuriens, les Galéopithèques qui sont des insectivores, les Polatouches, les Anomalures qui sont des écureuils, les *Thysanozoon*, les *Uroplatus* qui sont des reptiles et conduisent aux Dragons volants. Cette disposition a préparé la formation de l'aile des Ptérosauriens ou sauriens volants de la période secondaire et de celle des Chauves-souris qui sont des mammifères.

Certes, le genre de vie ne suffit pas à opérer cette transformation ; sans cela tous les animaux grimpeurs, par exemple, auraient acquis des parachutes ; il y faut aussi certaines conditions organiques que nous ne saurions encore préciser, ou peut-être un degré minimum de fréquence dans la répétition des mêmes actes, permettant aux forces modificatrices de s'exercer avec une intensité particulière, ou encore le concours régulier de plusieurs de ces forces agissant simultanément. Mais la corrélation est trop fréquente pour qu'on puisse la croire indépendante d'un phénomène de causalité.

On a essayé d'expliquer cette corrélation en faisant appel à ce qu'on a nommé les *préadaptations*. Des caractères nouveaux apparaîtraient sans qu'on puisse dire exactement pourquoi ; ils seraient *cryptogènes*, comme le disent les géologues des espèces qui apparaissent brusquement dans certaines couches géologiques, sans qu'on puisse deviner, pour le moment, d'où elles viennent. Des réapparitions dues à l'hérédité, des modifications

inconnues du milieu intérieur, des actions extérieures diverses dont on n'a pu déterminer l'influence les feraient surgir sans qu'ils aient aucune utilité immédiate ; mais une fois constitués, l'animal qui n'en avait d'abord que faire, les utiliserait dès qu'il en trouverait l'emploi ; ils sembleraient dès lors produits par de nouvelles conditions d'existence dont cependant, grâce à eux, l'animal n'aurait fait que tirer parti. Ces préadaptations sont réelles, c'est leur existence qui rend efficace la sélection naturelle, conséquence de la lutte pour la vie, et qui donne toute sa valeur à la théorie de Darwin. Toutefois de ce qu'elles existent, il ne faudrait pas conclure que les conditions d'existence ou de développement ne favorisent pas directement ou par les réactions qu'elles imposent à l'animal, l'apparition de caractères nouveaux en rapport avec elles ; souvent, au contraire, préadaptations et adaptations se superposent. C'est ce qui est arrivé pour les oiseaux. Leurs plumes n'ont pas été faites pour voler ; elles n'étaient d'abord que des excroissances tégumentaires imbriquées, sans doute irrégulièrement ramifiées, dont les rameaux, à cause de l'usure résultant du mode de superposition de ces excroissances, ont fini par ne se développer que latéralement ; celles des ailes et de la queue se sont trouvées dès lors utilisables pour la sustentation dans l'air. Tout au contraire, la patte de l'oiseau porte dans toutes ses parties la trace de la volonté de l'animal de se tenir debout sur ses membres postérieurs qu'il redresse à l'aide de ses muscles jusqu'à ne se servir que de ses doigts comme organes de sustentation ; le pouce finit alors par ne plus toucher le sol ; il s'atrophie, représenté encore par l'ergot des coqs ; cependant les muscles allant du bassin aux cuisses, qui doivent maintenir le corps dressé, ayant plus de travail à accomplir, augmentent de volume, déterminent un agrandissement considérable des os du bassin qui envahissent une région de plus en plus étendue de la colonne vertébrale, aussi bien en arrière qu'en avant de la cavité d'articulation de l'os de la cuisse. C'est le triomphe évident du principe de Lamarck sur les consé-

quences de l'usage et du défaut d'usage des organes, principe tout à fait étranger à la naissance des plumes, sinon à la détermination de leur forme définitive. Mais rien de tout cela n'a été fait en vue du vol; il s'agit simplement d'une coordination des os et des muscles favorisant la station bipède et le saut, comme en sont la preuve les Iguanodons et les autres reptiles ornithopodes herbivores de la période secondaire, ou les *Compsognathus*, autres reptiles, dits théropodes, de la même période, mais carnassiers. Beaucoup de ces animaux avaient des os creux où pénétraient des diverticules des sacs aériens aujourd'hui propres aux oiseaux, de sorte que l'appareil respiratoire même, si longtemps considéré comme destiné à procurer à l'oiseau l'énergie qu'il doit utiliser pour le vol, se trouve n'avoir eu, à l'origine, aucun rapport avec ce mode si spécial de locomotion. Rien de ce qui fait l'Oiseau n'a donc été combiné pour son genre de vie actuel; ses plumes sont nées de la puissance de multiplication des cellules de son épiderme et de leur faculté de produire abondamment de la substance cornée; la conformation de ses pattes de derrière résulte de l'avantage que l'animal a trouvé à se dresser sur elles et à sauter, et le surcroît d'activité qu'il a déployé pour cela a réagi sur son appareil respiratoire. Jusque-là il semble que l'animal soit fait de bric et de broc; mais une fois tous ces caractères réunis, le Reptile, devenu sauteur, usant, au cours du saut, de ses membres antérieurs garnis de plumes à la façon de parachutes, a pu se soutenir dans l'air, comme y avaient réussi, par des procédés tout différents, les Insectes et les Ptérodactyles, comme y réussiront plus tard les poissons volants et les chauves-souris. Né de la réunion fortuite d'un ensemble de caractères et de dispositions organiques, développées sans but ou dans un tout autre but que le vol, l'oiseau s'est ensuite perfectionné par l'exercice.

Il faut donc bien se garder de croire qu'une seule catégorie de causes, un seul procédé, une seule méthode ont suffi à créer les formes diverses des êtres vivants, et qu'une théorie unique peut

suffire à expliquer leur évolution. Tout ce qui vit autour de nous a été le résultat d'un immense conflit de forces et de substances, bien plus large que ce qu'on a nommé la lutte pour la vie, conflit dont l'histoire des peuples et des races, si complexe qu'elle nous apparaisse, ne nous offre cependant qu'un tableau rapetissé. On ne doit pas oublier d'ailleurs que, même dans le cas de ce qu'on appelle des préadaptations, l'animal ne peut tirer parti des caractères nouveaux qu'il a acquis qu'en usant de ses muscles et de son système nerveux autrement qu'il ne le faisait d'abord; il agit sur lui-même afin d'utiliser le mieux possible ces divers traits d'organisation. Commencée en dehors de la volonté de l'animal, l'adaptation au milieu s'achève sous l'action même de cette volonté, dussent les organes changer de fonction. Ces changements de fonction sont fréquents dans le règne animal. Anton Dohrn, le fondateur du célèbre aquarium de Naples, a, dans une série de beaux mémoires (1), appelé sur eux l'attention : les poissons volants se servent pour voler de leurs nageoires antérieures organisées d'abord en vue de la natation ; les nageoires abdominales et anales des *Gobius*, des *Liparis*, des *Lepadogaster* se transforment en ventouses propres à la fixation ; la partie antérieure de la nageoire dorsale devient une ventouse fixatrice céphalique chez les Rémoras; Savigny a montré à quel point les appendices buccaux des insectes pouvaient se modifier, suivant l'alimentation si variée de ces animaux; les tarières anales servant à la ponte des hyménoptères à larves phytophages ou entomophages deviennent les aiguillons défensifs des abeilles, des guêpes et des fourmis ; la bouche des vertébrés est une ancienne fente branchiale, etc. On pourrait presque dire que l'anatomie comparée tout entière n'est que l'exposé de ces changements de fonction qui sont le contraire des préadaptations. Pas plus que ces dernières, elles ne sauraient tout expliquer, et, avec elles, elles ne fourniraient qu'une base encore trop étroite à une théorie complète des transformations

(1) LXIII.

des organismes ; mais quand on a ces faits présents à l'esprit, on est tout préparé à saisir les causes déterminantes des caractères si persistants qui se retrouvent dans tous les animaux d'un même embranchement du règne animal, et impriment à chacun de ces embranchements une physionomie particulière. Pour remonter à ces causes, il suffira de faire appel aux principes fondamentaux de l'embryogénie, exposés dans un précédent chapitre. Voyons d'abord comment a pu être réalisé le type des Échinodermes dont les larves toujours libres, ou ne se fixant que tardivement, conduisent cependant à des organismes nettement rayonnés, c'est-à-dire ramifiés, ce qui paraît au premier abord contraire aux règles qui ont déterminé les deux grands types de structure des animaux.

Dominant la variété presque infinie des formes que l'armogénèse et la tachygénèse combinées imposent aux embryons des Étoiles de mer, des Oursins, des Holothuries, des Crinoïdes qui constituent l'embranchement des Échinodermes, certains de leurs traits demeurés constants apparaissent comme essentiellement patrogoniques, c'est-à-dire comme représentant des phases de l'évolution généalogique des ancêtres des Échinodermes actuels. Quelles que soient les formes extérieures revêtues par les embryons, ils présentent tout d'abord, à leur naissance, une symétrie bilatérale des plus nettes ; leur face dorsale convexe est plus développée que leur face ventrale qui est concave, de sorte qu'on peut les considérer comme courbés à la façon de la lettre C ; des bandes de cils vibratiles originairement disposées en ceinture, comme le montrent les larves des Synaptes et celles des Crinoïdes, mais déformées par suite de l'excès de croissance de certaines parties de l'embryon et notamment de sa face dorsale, divisent le corps en cinq segments, ce qui a valu à ces larves la qualification de *pentatroques*. Si l'animal demeurait à cet état, on n'hésiterait pas à le classer parmi les vers annelés. Mais bientôt des spicules calcaires apparaissent dans ses tissus ; en même temps, les organes internes

deviennent dissymétriques; ceux du côté qui se développe le plus rapidement présentent des phénomènes caractéristiques d'enroulement en hélice. Peu après que des spicules calcaires ont apparu dans ses tissus, le jeune animal, alourdi, cesse de nager pour tomber au fond de l'eau, où son attitude se modifie constamment de telle façon que son côté droit et son côté gauche deviennent respectivement la face dorsale et la face ventrale de l'animal adulte. Si l'on considère ces phases constantes du développement des Échinodermes comme d'origine patrogonique — et l'on ne saurait faire autrement sans enlever à l'embryogénie toute signification, — l'histoire généalogique de ces animaux apparaît comme il suit. Leur forme ancestrale était un ver annelé court, réduit à cinq segments, dont le corps était, par le seul fait du *tonus* musculaire, courbé en C comme celui de la plupart des animaux segmentés, à l'état d'immobilité (1). Ce ver, primitivement nageur, sécrétait du calcaire qui se déposait sous forme de spicules dans ses tissus et l'alourdissait peu à peu; il a donc fini par tomber au fond de l'eau, et, rendu rigide, incapable de se redresser, par suite du développement même des spicules, il est demeuré, en raison de sa courbure, couché sur le côté. Dès lors il est devenu dissymétrique comme le sont la larve de l'Amphioxus, et celles des Tuniciers, comme le sont les poissons pleuronectes, qui ont éprouvé le même changement d'attitude. Mais un animal couché sur le côté est dans les conditions les plus défectueuses pour s'alimenter, puisque c'est surtout sur le sol que se trouvent les aliments dont il peut user ; il s'efforcera donc de ramener sa bouche vers le sol, usant pour cela de tous les muscles dont il dispose et, guidé par ce que Lamarck appelait le sentiment du besoin ou du bien-être, que l'on tend aujourd'hui à remplacer par ce que l'on appelle des tactismes, il placera de même son anus le plus loin possible

(1) Cloportes et autres crustacés isopodes ou amphipodes; larves de Hannetons parmi les arthropodes; Aphrodites et autres Vers annelés rampants, à corps court et à face ventrale bien musclée.

de sa bouche ; il sera ainsi amené à cet enroulement en hélice aux phases duquel nous fait encore assister son embryogénie. Sauf qu'ils sont fixés, certains crinoïdes de la période primaire, les *Agelacrinus*, semblent arrêtés à ce stade de développement. Les raisons qui limitent le bourgeonnement à la région postérieure du corps chez les animaux mobiles et qui nous ont valu les vers annelés n'existent plus ici. Chaque segment du corps peut produire une série de bourgeons qui participent d'abord à l'arrangement linéaire des segments du parent, mais qui peuvent aussi ultérieurement se ramifier (*Astrophyton* et autres Ophiures s'enroulant autour des polypiers, Pentacrines et Comatulides). Ainsi ont pris naturellement naissance les Étoiles de mer, qui remontent effectivement à la plus haute antiquité et desquelles il est facile de faire dériver, par des considérations embryogéniques très simples, tous les autres Échinodermes. J'ai montré (1) que, parmi les étoiles de mer, les *Brisinga* ont encore des bras régulièrement segmentés ; que les segments nouveaux se forment immédiatement en avant du segment le plus ancien, représenté par la plaque radiale de l'embryon, comme chez les vers annelés, et qu'on pouvait suivre tous les passages entre ce type, qui apparaît dès lors comme primitif, et celui, si éloigné, des étoiles de mer pentagonales, comme les Culcites et les *Pentagonaster*. Après la métamorphose qui résulte de leur attitude pleuronecte, tous les échinodermes traversent une phase embryonnaire commune. Leur ancien côté droit, devenu face dorsale, prend une structure rayonnée caractérisée par la présence d'une plaque calcaire centrale qu'entourent cinq plaques semblables, dites *basales*, suivies de cinq autres plaques alternant avec elles, dites *radiales*. L'ancien côté gauche, devenu face ventrale, est également rayonné, mais chaque rayon est essentiellement composé d'une double série de plaques, dites *plaques ambulacraires*, en rapport avec les tentacules ou tubes locomoteurs. C'est de la façon dont se mul-

(1) XLI.

tiplient les plaques calcaires, à partir de cette forme embryonnaire commune, que dérivent les classes diverses d'échinodermes. Cette multiplication est à peu près nulle chez les blastoïdes aujourd'hui disparus; chez les Étoiles de mer et les Ophiures, des plaques nouvelles se forment entre toutes ces plaques dorsales, mais surtout entre les plaques basales et les radiales, de sorte que celles-ci sont constamment refoulées à l'extérieur et que cinq bras se forment derrière elles, la face ventrale suivant pas à pas l'accroissement de la face dorsale. Chez les Oursins, il ne se forme pas de plaques nouvelles entre les plaques dorsales, qui demeurent unies autour de l'anus, mais la face ventrale prend un accroissement rapide, de sorte que l'animal se gonfle comme une bulle de savon suspendue à l'extrémité de la paille fendue en croix, dans laquelle on souffle pour la dilater. Les Holothuries ne sont guère que des oursins dont le squelette est réduit à des spicules. Chez les Crinoïdes, les plaques primitives demeurent unies comme celles des oursins, mais il se forme entre la centro-dorsale et les basales, une pile de plaques constituant un long pédoncule, par lequel l'animal est fixé; la face ventrale ne se développe pas, mais en dehors des radiales, qui demeurent unies aux basales, il se fait, sous la poussée des organes génitaux, un bourgeonnement actif donnant naissance à cinq bras qui peuvent demeurer simples (*Hyocrinus*, *Rhizocrinus*, *Democrinus*, *Eudiocrinus*), se bifurquer (*Antedon*), ou se ramifier de diverses façons. Enfin les Cystidés sont fixés comme les crinoïdes, et il semble qu'à l'inverse des oursins la face dorsale se soit seule développée chez eux. Ici on peut répéter cette proposition : *Tout ce qui est possible se fait.*

L'embranchement des Mollusques a été réalisé par des changements d'attitude analogues. Tous les zoologistes ont été frappés des ressemblances qu'ils présentent avec les Vers, soit à leur naissance où ils revêtent une forme très voisine de la

forme initiale de ces derniers, soit à l'état adulte dans divers traits de leur organisation; mais une seule classe, celle des AMPHINEURES ou CHITONIDÆ, présente une segmentation nette du corps. Deux autres, celles des Céphalopodes et des Gastéropodes, sont caractérisées par la transformation de leur face dorsale en un cône volumineux qui aurait poussé contrairement à l'action de la pesanteur, si l'attitude de l'animal avait toujours été ce qu'elle est aujourd'hui. Ce cône n'existe pas chez les Lamellibranches; nous verrons tout à l'heure comment, malgré cela, il demeure caractéristique des Mollusques. Il était droit chez beaucoup de mollusques anciens, Céphalopodes (Orthocères) ou Gastéropodes (Tentaculites, Conulaires, Hyolites, etc.); il l'est demeuré chez la plupart des Céphalopodes actuels (Calmars, Poulpes); il s'est enroulé en spirale de manière à garder le plan de symétrie primitif de l'animal chez la plupart des Céphalopodes à coquille (Nautilides, Goniatites, Clyménies, Ammonites) et chez quelques Gastéropodes primitifs (*Bellerophon*); chez les autres, il s'est enroulé, non en spirale, mais en hélice, devenant ainsi dissymétrique, ce qui est arrivé aussi à quelques-unes des dernières Ammonites (*Turrilites*). Quelle relation y a-t-il entre tous ces faits?

On ne saurait supposer, comme nous venons de le dire, que le cône dorsal des Céphalopodes et des Gastéropodes ait pu se dresser, malgré la pesanteur, sur le dos qu'elle aurait dû aplatir; si on suppose, au contraire, que ces animaux se soutenaient ou nageaient primitivement dans l'eau, le dos en bas, le ventre en haut, en maintenant, par des moyens quelconques de sustentation et de locomotion, leur face ventrale vers le ciel, leur face dorsale devait fatalement céder à la pression des viscères sollicités par la pesanteur, et à la traction de l'appareil calcaire de protection, quand il en existait un sur cette face; il devait donc se former un cône dorsal pendant dans l'eau, et on ne peut imaginer autrement l'attitude des Céphalopodes et des Gastéropodes primitifs à coquille droite. D'autre part, il est im-

possible de ne pas remarquer que tous les mollusques nageurs actuels nagent le ventre en l'air, le dos en bas (Nautiles, Janthines, Carinaires, Firoles, Ptéropodes), et que toutes les larves marines des Gastéropodes, pourvues d'une coquille, nagent de la même façon. Si, comme nous l'avons expliqué, l'embryogénie reproduit les formes ancestrales, il y a là une indication précise que les ancêtres des mollusques actuels étaient des animaux nageurs, et nageaient dans l'attitude renversée qu'ont gardée les larves, et que reprennent les adultes quand ils reviennent à l'existence pélagique.

Les causes qui ont produit l'enroulement de la coquille n'ont rien de mystérieux ; elles ont été indiquées, en partie, par Arnold Lang, il y a longtemps déjà. Les branchies des Céphalopodes sont situées dans une cavité à l'intérieur de laquelle s'ouvre également l'anus et qui correspond, par conséquent, à la région postérieure du corps : l'animal ne peut respirer librement qu'à la condition de découvrir l'orifice de cette cavité en inclinant en avant la pointe de son cône dorsal. Cette pointe est alors refoulée vers le haut par la résistance de l'eau au poids du mollusque; mais le mollusque avance en rejetant brusquement au dehors l'eau que contient sa cavité branchiale ; la réaction de l'eau ainsi expulsée le projette en avant, et la résistance de l'eau intervient de nouveau pour rejeter en arrière la pointe du cône que la pesanteur tire alors vers le bas. Toutes ces actions combinées, jointes aux phénomènes de croissance, déterminent fatalement un enroulement en spirale de la coquille, dont l'ouverture se trouve dirigée en arrière et la partie enroulée en avant, comme le montre le Nautile.

C'est aussi ce mode d'enroulement que présente, au début, la coquille des Gastéropodes les plus anciens (Fissurelles, Troques, etc.), d'où l'on peut conclure que leurs branchies étaient primitivement postérieures. Ces gastéropodes ont été d'abord nageurs comme les céphalopodes (*Bellerophon*), et se sont trouvés, eux aussi, dans l'obligation d'enrouler leur coquille

en avant. La poussée de l'eau contre la coquille dirigée en avant et enroulée en spirale suffisait alors à maintenir ouverte la fente branchiale postérieure ; mais plus tard ces mollusques sont devenus rampants (Pleurotomaires, Fissurelles, Haliotides, Troques, *Turbo*, etc.), et ont dû appliquer de nouveau leur face ventrale contre le sol. La coquille à spire dirigée en avant devait dès lors, dans la reptation, être refoulée en arrière, et masquer de nouveau la fente branchiale. Lang (1) a montré comment les Gastéropodes s'étaient tirés d'affaire, en contractant une des moitiés de leur corps de manière à tourner en avant la cavité branchiale, et M. Robert (2) a pu suivre les phases de cette rotation chez les larves des Troques. La contraction presque permanente d'une des moitiés du corps a amené peu à peu un racourcissement puis un avortement partiel de cette moitié ; ainsi l'enroulement spiral du cône devenu dissymétrique a été remplacé par un enroulement hélicoïdal. La torsion en huit de l'anse nerveuse, qui donne naissance aux nerfs animant les viscères contenus dans le cône, est tout à la fois une conséquence et une preuve du déplacement de la cavité branchiale.

Comment les mollusques bivalves, dont les Huîtres sont le type, ont-ils échappé tout à la fois au cône dorsal et à l'enroulement qui devait en être la conséquence? La méthode que nous venons de suivre nous en donne l'explication. N'ayant pas de cône dorsal embarrassant, ceux qui ne se sont pas couchés sur le côté, comme les Huîtres, sont strictement symétriques, mais il n'est pas difficile de découvrir la nature de leurs affinités avec les autres mollusques. Les Gastéropodes primitifs présentent, en effet, quelques traits d'organisation tout à fait caractéristiques : leur cœur possède deux oreillettes et son ventricule est traversé par le rectum ; ils ont deux branchies bipectinées. Ces caractères si spéciaux se retrouvent exactement chez les Lamellibranches, qui doivent en conséquence être considérés

(1) **XLIV**. — (2) **XLVI**, 201.

comme apparentés à ces Gastéropodes anciens que l'on nomme diotocardes, à cause des deux oreillettes dont leur cœur est pourvu. A la vérité tous les diotocardes actuels sont dissymétriques; de tous, les plus primitifs sont les Pleurotomaires, les Fissurelles, les Haliotides et quelques autres qui ont pour caractère commun de garder les traces les plus manifestes de symétrie bilatérale, d'avoir le bord antérieur de l'ouverture de leur coquille profondément fendu ou échancré, au moins dans le jeune âge, la fente pouvant persister (Pleurotomaires, Emarginules), donner naissance à une série de trous disposés en ligne hélicoïdale (Haliotide), ou à une ouverture située au sommet de la coquille, qui est alors en forme de cône surbaissé (Fissurelles). Or cette fente, qui indique une division du manteau en deux lobes liés eux-mêmes aux deux branchies, existe et est disposée suivant le plan de symétrie de la coquille chez les Bellérophons des premiers temps primaires, aujourd'hui disparus. Elle ne peut laisser aucun doute que ces animaux étaient des Gastéropodes diotocardes ayant conservé, comme les Céphalopodes, tous nageurs, une symétrie bilatérale parfaite. Il suffit maintenant que des animaux analogues aux Bellérophons, au cours de leur vie pélagique, aient peu à peu résorbé leur cône dorsal, que la fente initiale se soit prolongée tout le long du plan de symétrie, pour que la coquille soit devenue bivalve. Le jeu des muscles, rapprochant les deux valves de la coquille, a comprimé l'animal qui, ayant perdu son cône dorsal, a pu devenir rampant comme les Solénomyes sans que sa symétrie bilatérale ait été altérée. La disparition du cône dorsal est d'ailleurs un phénomène fréquent chez les Gastéropodes rampants et qui se produit dans les ordres les plus variés; elle est complète, par exemple, chez les Fissurelles qui sont des diotocardes, les Patelles qui sont des hétérocardes, les Valvées qui sont des monotocardes, les Limaces et les Vaginules qui sont des pulmonés, et chez un très grand nombre d'Opisthobranches. Nous ne faisons appel, par conséquent, en

supposant cette disparition chez des mollusques analogues aux Bellérophons, qu'à un phénomène tout à fait vulgaire.

Ainsi les trois grandes classes des Mollusques trouvent sans peine une explication. Reste à savoir comment le type Mollusque a pu prendre naissance par transformation d'un type plus explicable. Nous avons déjà indiqué les caractères transitionnels des Amphineures, dont le type vulgaire est représenté par les Oscabrions, qui ont le dos protégé par huit plaques calcifiées, fondamentalement semblables entre elles, les *cérames*, accusant nettement une segmentation du corps. On peut d'autant moins échapper à cette interprétation que les cérames ne sont pas un simple revêtement calcaire et mort comme la coquille, mais bien des différenciations vivantes du tégument dont elles font partie intégrante, traversées par des nerfs, logeant des organes sensitifs qui peuvent devenir des yeux, et qui se répètent régulièrement à la même place sur toutes les cérames. Il est donc bien certain que le tégument des Oscabrions est segmenté comme celui des vers : des cloisons incomplètes délimitent même ces segments à l'intérieur du corps, où on peut retrouver des organes semblables entre eux dans tous les segments ainsi divisés. Il faut donc admettre que les Oscabrions sont de près apparentés aux Vers annelés dont nous avons expliqué précédemment l'origine. Leur système nerveux a été très étudié ; c'est un système nerveux de Ver très peu modifié, ce qui confirme notre conclusion. Or, le système nerveux des Pleurotomaires et des Fissurelles a été d'autre part soigneusement décrit et figuré par MM. Bouvier et Fischer (1). Si l'on ne tient pas compte de ses parties en rapport avec la région du corps surajoutée qu'est le cône dorsal, ce qui reste est identique au système nerveux des Oscabrions. Cuvier disait : *le système nerveux est au fond tout l'animal;* l'étroite parenté des Oscabrions et des Gastéropodes dioto-

(1) **XLVIII**, 117-272.

cardes, que la forme extérieure ne laisserait pas deviner, est donc ici patente, et nous tenons le chaînon par lequel les Mollusques se sont détachés des Vers annelés. Le système nerveux des Nautiles, étudié par M. Gravier, apporte à cette affirmation une confirmation nouvelle; sans doute il est formé de deux anneaux soudés en avant, au lieu de deux cordons longitudinaux; mais il ne peut en être autrement, la face ventrale des Céphalopodes, celle qui correspond au pied des Gastéropodes, étant réduite à l'espace compris entre leur bouche et leur anus, c'est-à-dire au pourtour même de la bouche.

Nous arrivons enfin aux plus élevés des animaux, à ceux où l'organisation a atteint la plus grande puissance, aux Vertébrés, dont l'Homme fait lui-même partie. Ici le corps est demeuré symétrique ; la constitution de la colonne vertébrale, la disposition même des muscles de la paroi du corps, surtout chez les Poissons et les Batraciens, celle des nerfs, des vaisseaux, des organes des sens de la ligne latérale chez les Vertébrés aquatiques, celle des canalicules rénaux chez les Vertébrés pourvus de branchies en naissant et les embryons des Vertébrés où ces organes s'ébauchent et disparaissent avant la naissance, ne peuvent laisser aucun doute sur la parenté des Vertébrés et des animaux segmentés, sur laquelle, après Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1), Semper (2) et Balfour (3) ont appelé l'attention. Cependant de Lacaze Duthiers professait encore en 1869 qu'il y avait un abîme infranchissable entre les Invertébrés et les Vertébrés. C'est qu'en effet une disposition commune du système nerveux à tous les Invertébrés chez qui ce système est différencié, la présence d'un collier ganglionnaire entourant la naissance de l'œsophage, fait totalement défaut aux Vertébrés; de plus, tandis que chez les premiers la chaîne nerveuse qui fait ordinairement suite à ce collier est ventrale, la moelle épinière, qui semble lui correspondre chez les Vertébrés, est dorsale.

(1) L. — (2) LI. — (3) LII.

Inversement, le centre circulatoire est dorsal chez les Invertébrés segmentés, il est ventral chez les Vertébrés. Dès 1808, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire avait déjà signalé que cette opposition n'était qu'apparente et qu'il suffisait, pour la faire disparaître, de placer les Invertébrés segmentés le dos en bas, le ventre en l'air, et de renverser ainsi leur attitude. Mais pourquoi un tel renversement? Geoffroy Saint-Hilaire se borna à envisager la chose au point de vue de l'unité au plan de composition du règne animal, et si l'idée parut ingénieuse, au point de susciter une lettre anonyme du physicien Ampère levant quelques difficultés, elle fut vite abandonnée. La réalité du renversement imaginé par Geoffroy peut cependant être démontrée et expliquée. Originairement, le collier œsophagien des animaux segmentés n'est pas autre chose que le résultat d'une différenciation sensitive des éléments épithéliaux qui entourent la bouche, sous l'action stimulante des aliments que saisit et déglutit l'animal. On peut suivre, nous l'avons vu (p. 143) chez les Vers annelés toutes les phases de cette différenciation et de la migration des éléments nerveux hors de l'épiderme, dont ils ne se séparent complètement, pour former un collier indépendant, que d'une façon tardive. Cette différenciation et cette séparation bientôt affranchies de toute excitation extérieure, s'opérant uniquement par hérédité, deviennent de plus en plus précoces, suivant les lois de la tachygénèse, à mesure que le système nerveux prend une plus grande importance. Ce qui distingue essentiellement le Vertébré, c'est justement le volume énorme de son système nerveux comparativement au reste de son corps; ce système doit donc se former de très bonne heure et c'est, en effet, ce qu'on observe chez l'*Amphioxus* et chez les Tuniciers qui sont des formes dégénérées du même groupe. Chez ces animaux, et il en est de même chez tous les Vertébrés inférieurs, le système nerveux se forme par une modification suivie d'invagination de toute une face de l'embryon, et ces phénomènes pré-

cèdent de beaucoup la formation de la bouche. Au moment où celle-ci pourrait se former, la place qu'elle devrait occuper est prise par l'ébauche déjà avancée du système nerveux. Mais à ce moment, chez l'*Amphioxus*, se forme sur l'un des côtés du corps la première fente branchiale qui établit une communication entre l'extérieur et la cavité du futur tube digestif; le jeune animal s'en sert comme il l'aurait fait de la bouche absente, mais il est obligé, pour cela, de se coucher sur l'un de ses côtés, de faire de ce côté sa face ventrale, à la façon des Soles, et, comme elles, il devient dissymétrique. Cette dissymétrie s'accuse par le chevauchement des segments musculaires de l'un des côtés du corps sur l'autre, de sorte que chaque demi-segment d'un côté est en avance sur l'autre de la moitié de sa longueur; par la localisation, sur le côté du corps devenu dorsal, de la fossette olfactive; par la formation, sur le même côté libre du corps, des deux séries de fentes branchiales qui se disposent en une ligne courbe, trahissant la torsion qu'a dû subir le corps pour amener sur son côté libre les fentes branchiales de l'autre côté, que les impuretés du sol auraient obstruées. Le jeune animal, à cet état, nage toujours couché sur le côté, à la façon des poissons pleuronectes. Plus tard, il s'enfonce verticalement dans le sable, et, tout redevenant symétrique autour de lui, il s'emploie à réparer sa dissymétrie. La série des fentes branchiales que la torsion du corps avait déplacée reprend sa position sur le côté qu'elle avait quitté. La première fente branchiale, demeurée à sa place primitive, mais démesurément agrandie, est masquée peu à peu par un repli du tégument qui descend sur elle comme un volet et ne laisse libre qu'une fente située le long du bord ventral; la fausse bouche latérale, constituée par la première fente branchiale, devient médiane, mais opposée au système nerveux, au lieu d'être située du même côté. L'animal, pour l'utiliser, est forcé de la tourner vers le sol sur lequel se trouvent en définitive les aliments; il fait ainsi, de son ancienne face dorsale, sa face ven-

trale, et réciproquement. Le retournement signalé par Geoffroy Saint-Hilaire est ainsi *réellement observé* et expliqué chez le plus primitif des Vertébrés, et l'on voit qu'il s'est fait en deux fois.

Les Vertébrés qui sont descendus des types primitifs dont l'*Amphioxus* est le dernier reste ont nécessairement gardé leur type, puisque leur système nerveux n'a fait que s'accroître et que c'est le volume du système nerveux qui l'a déterminé par une suite naturelle de processus de tachygénèse intervenus dans son mode de développement. Dohrn a, depuis, montré que chez les Lamproies et les Requins la bouche n'était aussi qu'une fente branchiale modifiée, et ces animaux ont conservé de nombreuses traces de dissymétrie.

Notons dès maintenant que c'est à l'importance prise par le système nerveux que les Vertébrés doivent leur origine. C'est par son développement ultérieur qu'ils s'élèvent au-dessus des autres animaux et parviennent enfin jusqu'à l'Homme, dont l'évolution aurait été ainsi dominée par les progrès rapides des organes où siège l'intelligence. Il y a là, pour les philosophes et surtout pour les métaphysiciens, un thème qui pourrait fournir un terrain d'entente à des doctrines jusqu'ici réputées inconciliables. J'ai montré ailleurs comment d'autres traits caractéristiques des Vertébrés, tels que la formation aux dépens de l'entoderme d'une corde dorsale autour de laquelle se développera la colonne vertébrale, découlaient de ces prémisses (1).

Je n'insisterai pas sur les phénomènes de dégénérescence qui ont donné lieu à la formation du type des Tuniciers, quelque intérêt que présente cette histoire et quelques conséquences qu'on en puisse tirer. J'ai traité dans un autre ouvrage (2), avec tous les détails convenables, cet important sujet qui a donné (3) lieu à tant de discussions et servi de base aux théories

(1) **XXXVIII**, 319. — (2) **XXVII**, 358. — (3) **XLIII**, 231.

diverses auxquelles correspondent les noms de *génération alternante*, *digénèse*, *généagénèse*, *métagénèse*, etc. Il me suffira d'indiquer que ces faits s'expliquent par des considérations analogues à celles qui nous ont permis de donner ici la première explication scientifique qui ait été tentée de la formation des grands types organiques que Cuvier croyait irréductibles et qu'il désignait du nom d'*embranchements*.

En résumé, les causes qui ont déterminé la formation des quatre embranchements du règne animal où l'organisation primitive des Vers a été remaniée, peuvent être synthétisées comme il suit : des phénomènes d'ordre purement chimique, la sécrétion du calcaire, celle de la graisse, en alourdissant ou en allégeant l'animal, ou d'ordre purement physiologique en donnant au développement de son système nerveux l'avance sur celui des autres organes, ont déterminé un changement dans son orientation par rapport au sol. Soit par voie réflexe, soit plus ou moins consciemment, les animaux qui ont subi ce changement d'orientation ont usé de leurs propres moyens et surtout de leurs muscles, pour modifier leur forme, de manière à ramener le mieux possible l'accord entre leur organisme tel qu'il était résulté de leur genre de vie antérieur, et les conditions d'existence nouvelles qui leur étaient imposées. Conformément aux idées qui constituent la doctrine de Lamarck, ces animaux ont été les agents actifs de leur propre transformation. Cette transformation a été, pour eux, une période de crise, analogue à celle qui devient si aiguë chez les Insectes à métamorphose complète, et les oblige à s'abriter si soigneusement pendant sa durée. Ils auraient certainement succombé durant cette période critique si, au moment où elle s'est produite, leurs rivaux avaient été très nombreux et la lutte pour la vie très intense. C'est donc à une époque où les animaux ne se faisaient qu'une faible concurrence sur la Terre, c'est-à-dire de très bonne heure, que les embranchements du Règne animal ont pris naissance. La lutte pour la vie, qui a pu, comme l'a expliqué Darwin dans ses livres

célèbres, jouer un rôle important dans le choix des modifications secondaires qui caractérisent les formes arrivées jusqu'à nous, et dans la formation des hiatus qui les scindent en espèces désormais incapables de se mêler, n'a rien à faire ici; elle aurait, au contraire, tout empêché.

Les causes qui ont déterminé la formation des quatre embranchements remaniés sont d'ailleurs indépendantes les unes des autres. La formation de ces embranchements issus tous quatre de celui des Vers à pu être, par conséquent, simultanée et l'on comprend dès lors qu'aussi loin qu'on ait pu remonter dans le passé on les trouve toujours associés, sauf un léger retard peut-être pour les Vertébrés, retard qui s'explique puisqu'ils sont le résultat, non pas d'un phénomène purement chimique, mais du degré de perfection atteint par le système nerveux.

Ces embranchements se sont maintenus parce que les causes qui les ont produits ont tout d'abord agi d'une manière continue; mais peu à peu ils se sont dégagés de ces causes; des causes nouvelles, essentiellement intrinsèques, constituant ce que nous appelons l'*hérédité*, se sont substituées aux causes primitives, elles suffisent aujourd'hui à perpétuer les formes fondamentales qu'elles ont créées. Les agents de modification survenus depuis n'en ont plus modifié que les détails.

C'est dans les eaux, nous l'avons vu, et certainement dans la zone de 400 mètres d'épaisseur que ne dépasse pas la pénétration des rayons solaires réellement utiles, plus spécialement sur le littoral des mers où tous les éléments de nutrition abondent, que les formes vivantes se sont diversifiées. Nous avons maintenant à nous demander comment elles sont descendues dans les abîmes et comment elles ont enrichi la terre ferme.

CHAPITRE VI

LE PEUPLEMENT DE LA HAUTE MER, DES ABIMES OCÉANIQUES ET DES CONTINENTS

Si tous les êtres vivants qui peuplent la haute mer, les abîmes océaniques et les continents venaient à être supprimés, les animaux qui subsisteraient sur les rivages suffiraient pour que l'on puisse établir, sans changement, tout l'ensemble de doctrines qui constituent aujourd'hui ce qu'on nomme la philosophie zoologique. A la vérité, d'importants aboutissements feraient défaut; la botanique, réduite à l'histoire des algues et de quelques champignons inférieurs, serait très simplifiée : il ne serait plus question ni d'arachnides, ni de myriapodes, ni d'insectes, et le merveilleux épanouissement des reptiles, des oiseaux et des mammifères demeurerait ignoré; mais les formes vivantes du littoral n'en fourniraient pas moins une série continue dont tous les termes seraient explicables les uns par les autres, et on pourrait reconstituer, par leur étude comparative, les conditions essentielles de l'évolution de la vie. La faune de la haute mer, celle des abîmes, celle de la terre ferme sont au contraire essentiellement lacunaires. Sans doute il y a en haute mer, comme sur les côtes, des êtres microscopiques flottants appartenant aux deux règnes : des diatomées et autres algues minuscules qui n'ont besoin pour s'alimenter que des gaz de l'air et de l'eau combinés par la lumière du soleil; des protozoaires qui vivent de ces microphytes; mais après eux tout est lacune, et des classes entières font défaut ou ne sont représentées que par des types affectés d'adaptations toutes spéciales, parfois même

issus de formes normalement fixées au sol. Les Éponges manquent, l'embranchement des Polypes n'est représenté que par des Méduses chez qui la tachygénèse a remplacé la phase de fixation à l'état de polype par le développement direct, des Siphonophores qui ont trouvé moyen de se fixer non plus au sol mais à une bulle d'air, des Actinies flottantes d'une belle couleur bleue; quelques Bryozoaires sont aussi devenus capables de nager. En accélérant, chez les embryons des Tuniciers, la métamorphose qui devrait suivre leur fixation, au point que l'œuf produise directement la forme définitive, la tachygénèse a réalisé ce paradoxe de tirer d'animaux, créés en quelque sorte par leur immobilité et la dégénérescence consécutive, trois groupes indépendants de Tuniciers nageurs : les Pyrosomes, les *Doliolum* ou Tonnelets et les Salpes. Les Arthropodes sont surtout représentés par de petits Copépodes qui vivent par bancs innombrables, des Schizopodes, et des Squilles. Contrairement à ce qu'on pouvait penser, les Vers annelés, si agiles quand ils se faufilent parmi les algues, ne fournissent à la faune pélagique qu'un petit nombre de formes généralement transparentes et de petites dimensions : *Tomopteris*, *Ophryotrocha*, *Palolo*, etc. On connaît aussi quelques étranges Némertes de haute mer. En revanche, vivent par bandes innombrables, loin des côtes, les *Sagitta* d'organisation peu complexe, mais tout à fait isolées parmi les Vers. Les lourds Échinodermes ne sont représentés que par quelques Holothuries flottantes. Les Mollusques céphalopodes sont essentiellement des animaux de haute mer et sont très variés, mais on les rencontre aussi sur les côtes; au contraire, parmi les Gastéropodes proprement dits, on ne peut guère citer que les Janthines, les Atlantes, les Carinaires, les Firoles, qui ont des caractères si spéciaux, qu'on a constitué pour eux le groupe des Hétéropodes. Les vrais Gastéropodes sont remplacés par des Ptéropodes étroitement apparentés aux Gastéropodes opisthobranches déjà aberrants, parmi les Gastéropodes, mais s'éloignant d'eux par la trans-

formation de leur pied en un organe de natation formé de deux ailes souples, très mobiles; ils vivent comme les Copépodes et les *Sagitta*, en bancs innombrables. Tous les Invertébrés pélagiques sont plus ou moins affectés d'un curieux mimétisme. Leur corps est comme gonflé d'eau, transparent ou d'une couleur bleue qui se confond avec la couleur bleu foncé que présente constamment, au large, l'eau de l'océan.

Naturellement les Poissons forment une longue série, mais où manquent aussi certains groupes importants au point de vue généalogique, tels que les Lamproies, qui sont justement les poissons les plus inférieurs, et les poissons osseux les plus primitifs, ceux dont les nageoires pectorales et abdominales sont éloignées comme celles des requins. Les Sardines, les Harengs et les Anchois, à la vérité, appartiennent à cet ordre mais vivent trop au voisinage des côtes pour qu'on puisse les considérer comme vraiment pélagiques. Les tortues marines et les cétacés, singulière adaptation des mammifères à la vie marine, complètent cette faune qui est, comme on voit, tout à fait fragmentaire et dans laquelle la présence des tortues et des cétacés indique clairement une émigration d'animaux des rivages.

La faune de grands fonds n'est pas moins incomplète (1). Lorsqu'elle fut découverte, l'idée se répandit que les abîmes océaniques étaient particulièrement riches. Ayant eu à étudier les belles collections d'Étoiles de mer recueillies par Alexandre Agassiz dans la mer des Antilles et celles recueillies dans l'Atlantique par les expéditions du *Travailleur* et du *Talisman*, j'ai eu la curiosité de rechercher combien il fallait de coups de draguée pour ramener un individu quelconque, une espèce, un genre, à mesure que la profondeur augmentait; ces nombres n'ont cessé d'aller en croissant dans les trois cas, ce qui veut dire que la

(1) LIV, 336.

faune des abîmes va en s'amoindrissant et s'appauvrissant, au point de vue du nombre des genres et des espèces, à mesure que l'on descend plus bas. Il est donc évident que les abîmes ne sont pas, comme on a pu le croire un moment, une réserve de vie; la vie au contraire les gagne lentement, venant, non pas de la surface, que nous avons vue peuplée d'une manière spéciale et qui ne possède qu'une faune fragmentaire, mais des rivages. En fait, les espèces d'étoiles de mer des grandes profondeurs sont toutes représentées sur les rivages par des espèces analogues ; mais les espèces littorales qu'on peut considérer comme ayant donné naissance aux espèces des profondeurs sont réparties sur les littoraux de telle sorte qu'on peut dire que tous les rivages ont fourni leur contingent à la faune abyssale.

Ces considérations dispenseraient presque d'avoir recours à la nature de cette faune pour établir son origine littorale ; mais elle vient apporter une confirmation précieuse à notre point de vue. Il faut d'abord faire ici une distinction importante. Jusqu'à 1 500 à 2 000 mètres de profondeur on voit, en effet, la faune s'enrichir d'espèces appartenant à des groupes qui florissaient pendant la période secondaire, et qui depuis s'étaient raréfiés sur les rivages, ou même en avaient complètement disparu; tels sont, parmi les phytozoaires, les éponges vitreuses hexactinellides, les hydrocoralliaires, les polypiers solitaires (*Flabellum* et autres); les Polychélidés, sortes de langoustes aplaties voisines des *Éryon* jurassiques; les crinoïdes fixés, les oursins mous du type des *Calveria* et les *Pourtalesia* apparentés aux *Ananchites* de la période crétacée, parmi les échinodermes; les Pleurotomaires et les Pholadomyes, parmi les mollusques. Les poissons appartiennent de même aux types les mieux représentés dans les eaux douces, et qui sont comme on sait les plus anciens; ils se rapprochent des salmonides, des brochets, des anguilles ou des merues, types auxquels se rattachent aussi un certain nombre de poissons

pélagiques remarquables par les yeux nombreux (1), qu'ils portent sur les côtés du corps, à raison d'une paire par segment, et qui ne sont du reste qu'une modification des organes sensitifs de la ligne latérale.

Ces types archaïques disparaissent peu à peu à mesure que la profondeur devient plus grande et ce sont des organismes manifestement récents, mais étroitement adaptés à la vie dans les grands fonds, qui les remplacent. Parmi eux les plus remarquables sont peut-être les Holothuries. Ces Échinodermes sont nombreux sur tous les littoraux. Là presque tous ont grossièrement la forme de concombres, d'où le nom de *Cucumaria* que porte un des genres les plus communs. Leur corps est divisé en cinq fuseaux tous semblables par cinq rangées de tubes membraneux terminés par des ventouses et qui servent de pieds. Dix tentacules plus ou moins ramifiés entourent la bouche située à l'une des extrémités du concombre, tandis que l'anus est situé à l'autre. Le corps a donc une symétrie absolument rayonnée. Elles vivent entre les galets, sous les pierres, dans les fentes des rochers et, dans ces conditions, elles usent indifféremment, pour se mouvoir, de l'une ou l'autre de leurs rangées de pieds. Quelques-unes cependant appuient constamment sur le sol une même région de leur corps, laquelle comprend trois rangées de tentacules ambulacraires, une médiane et deux latérales (*Stichopus, Colochirus*). Cette région présente un aplatissement marqué et constitue déjà une ébauche de sole ventrale. Cette sole atteint son maximum de différenciation chez les *Psolus* qui vivent fixés à la surface des rochers et dont la bouche entourée de longs tentacules ramifiés est nettement dorsale. Ces tentacules sont couverts de cils vibratiles microscopiques dont les battements incessants dirigent vers la bouche de l'animal les particules microscopiques dont il se nourrit. L'existence d'une sole ventrale devient la règle

(1) *Chauliodus.*

(*Cucumaria*) et nous avons déjà indiqué (p. 150) comment elle se constitue et pour quelle cause. On peut suivre ici toutes les phases d'une transformation dont le point de départ est manifestement une attitude imposée à l'animal par les nécessités de son alimentation. Les holothuries abyssales n'ont rien à tirer de l'eau ambiante où ne vit aucune de ces algues microscopiques qui suffisent à l'alimentation des *Psolus*. Elles se nourrissent de vase, aussi les tentacules qui entourent leur bouche se réduisent-ils à de simples tubes élargis en bouton ; le contraste entre la face dorsale et la face ventrale s'accentue (1) ; le coude suprabuccal des *Peniagone* s'étale en un étendard à bord antérieur élégamment découpé ; les tubes pédieux dorsaux inutilisés s'allongent en cônes purement ornementaux chez les Deimatinæ ; ils s'atrophient chez les *Psychropotes*, dont le corps se termine par une large queue pointue et vide ; les tubes pédieux latéraux de la face ventrale suffisant à la locomotion, les médians peuvent disparaître, par défaut d'usage.

Même dans les profondeurs moyennes de 400 à 2000 mètres, où la lumière a cessé de pénétrer, les formes représentatives de la faune des temps secondaires sont peu abondantes; et aucune forme ne peut être rattachée à celles qui étaient caractéristiques de la période primaire. On en doit conclure que la population des abîmes océaniques est relativement récente, et comme on n'y découvre aucune de ces formes archaïques, dont Agassiz les croyait peuplés, aucune forme même que l'on puisse considérer comme une tête de série, mais seulement des formes très modifiées, adaptées à un genre de vie très spécial, force est bien de conclure que ces formes sont descendues des rivages et qu'en descendant elles ont pris peu à peu des caractères particuliers, en rapport avec leur nouveau genre de vie. Leurs adaptations sont surtout remarquables chez les Crustacés décapodes. Ces animaux se divisent en deux catégories : les Décapodes

(1) *Psychropotes, Oneirophanta, Deima, Peniagone*, etc.

nageurs, dont les crevettes sont le type vulgaire, et les Décapodes marcheurs, dont les langoustes, les écrevisses et la légion innombrable des galathées et des crabes sont des représentants que tout le monde connaît. Les premiers ne font que peu d'usage des pattes longues et grêles dont leur thorax est pourvu; ils nagent au moyen des grands appendices aplatis qui les remplacent sur les segments de leur abdomen, vulgairement considéré comme leur queue, ou à l'aide de brusques mouvements de flexion de celle-ci. Ce dernier mode de locomotion n'est pas étranger aux décapodes marcheurs, mais ils l'emploient beaucoup moins souvent; leurs appendices abdominaux ne sont pas utilisés pour la natation, et l'animal marche à l'aide des dix pattes robustes que porte son thorax. Les décapodes nageurs se tiennent presque toujours entre deux eaux, et se déplacent avec agilité; les marcheurs quittent peu le sol avec lequel leurs pattes sont très ordinairement en contact et qu'elles palpent, pour ainsi dire, constamment. Les adaptations abyssales de ces deux types de crustacés se produisent, en conséquence, en des sens opposés. Les antennes des crustacés nageurs s'effilent et s'allongent démesurément, de manière à servir d'organes tactiles (1) propres à les avertir du moindre obstacle, et leurs yeux s'agrandissent démesurément. Au contraire, les antennes des crustacés marcheurs demeurent relativement courtes, leurs pattes robustes et leurs yeux, inutiles en raison de la prudence de leur locomotion, disparaissent (2). Au premier abord l'agrandissement des yeux des crustacés nageurs paraît un paradoxe; mais l'obscurité des grands fonds n'est pas absolue. Beaucoup d'animaux y deviennent producteurs de lumière. Ce sont des polypes du groupe des Gorgones, des crustacés, tels que les *Gnathophausia*, les *Euphausia* qui portent sur leurs appendices des organes lumineux; de nombreux décapodes nageurs; des poulpes, qui sont munis de

(1) *Nematocarcinus gracilipes, Pandalus, Benthesicymus*, etc. — (2) *Pentacheles, Nephropsis, Galathrodes*, etc.

véritables projecteurs, et de nombreux poissons (1) dont les organes lumineux sont situés soit sur la tête, soit en série sur les côtés du corps, comme les organes de la ligne latérale. On ne peut dire que ce soit l'obscurité qui ait ainsi allongé des appendices ou fait naître des organes lumineux. M. Viré a cependant constaté que les appendices de certains crustacés maintenus dans l'obscurité s'allongeaient beaucoup; cela se produit aussi chez certains insectes habitant des cavernes obscures, et il est probable que l'usage constant que font ces animaux de leurs appendices pour palper ce qui les entoure a contribué à leur allongement ; il est normal que par défaut d'excitation, au contraire, les yeux aient disparu. Quant à la fréquence des organes lumineux chez les animaux des grands fonds, on pourrait dire, avec les partisans de la théorie des préadaptations, que sont naturellement descendus dans les ténèbres des grandes profondeurs les animaux qui pouvaient les illuminer; mais comme les espèces côtières qu'on pourrait considérer comme ancestrales ne sont pas lumineuses, il faut bien admettre que leurs appareils d'éclairage ne se sont développés qu'après leur descente dans les régions obscures et ne pas repousser d'emblée l'idée que l'absence de lumière solaire a favorisé leur apparition. Quoi qu'il en soit, cette faculté a été réservée, on ne sait pourquoi, à un certain nombre seulement des types qui constituent la faune abyssale.

Les formes abyssales sont sans lien entre elles. On y rencontre, en effet, d'assez nombreuses éponges vitreuses hexactinellides, très peu des autres groupes; des polypes alcyonaires du type du Corail ou des Madréporaires solitaires (*Flabellum*); peu de Bryozoaires, mais assez souvent des formes douteuses qu'on y rattache, comme les *Rhabdopleura* et les *Halilophus dodecalophus*. Les crustacés y sont assez abondants et des ordres de petite taille y sont parfois représentés par des

(1) *Chauliodus, Stomias, Malacosteus*, etc

formes gigantesques, telles que le *Bathynomus giganteus*, grand cloporte de deux décimètres de long, ou les *Gnathophausia gigas* et *Goliath*. Les vers annelés y font très ordinairement défaut. Les mollusques sont rares, de petite taille. et leur absence a déterminé chez les Bernard-l'Ermite, qui sont assez abondants, des mœurs singulières. Les crustacés de ce groupe ont un gros abdomen mou qu'ils cachent, quand ils vivent sur le littoral, dans des coquilles vides qu'ils n'ont pas de peine à rencontrer ; à mesure qu'ils grossissent, ils changent de coquille, de manière à avoir toujours une maison appropriée à leur taille, et dans laquelle ils puissent s'abriter entièrement. Assez souvent une belle anémone de mer d'un rouge vif, appartenant au genre *Adamsia*, vient s'installer sur cette coquille et il s'établit une sorte de *consortium* entre le crustacé et le polype. Certains Bernards peuvent se loger dans un fragment de bambou (1) ; quelques-uns se fabriquent même une maison mobile, une sorte de roulotte, avec de la terre (2). Dans les grandes profondeurs, les coquilles des gastéropodes se font rares et elles sont petites. Les Bernards y contiennent parfaitement quand ils sont jeunes, mais ils grandissent et ne trouvent pas à les remplacer ; alors ils les gardent par habitude, pour la satisfaction de leur instinct, bien qu'elles leur soient inutiles, et on rencontre de superbes Bernards (3), dont l'abdomen a les dimensions d'un fort pouce d'homme, qui portent à l'extrémité de cet abdomen une coquille à peine grosse comme un fruit d'églantier, maintenue par les dernières pattes transformées en crochet.

Certaines espèces (4) ont aussi pour alliés des polypes, les Epizoanthes, qui viennent s'établir sur leur coquille. Lorsque le crustacé et le polype sont jeunes, tout se passe comme chez les Bernards littoraux ; mais le Bernard ne change pas de coquille en grandissant. En revanche, le polype a la faculté de

(1) *Xylopagurus*. — (2) *Pylocheles*. — (3) *Catapagurus*. — (4) *Pagurus pilimanus*.

produire par bourgeonnement des polypes semblables à lui; sa famille dépasse bientôt la coquille et habille directement le Bernard qui se trouve ainsi abrité dans un vêtement vivant, toujours à sa taille. Cet habit s'adapte si bien au crustacé qu'il a toujours la même forme, et l'on ne peut dire ici que cette forme ne soit pas le résultat immédiat des conditions de développement imposées à la famille relativement passive des polypes, par l'activité du Bernard. L'intervention des circonstances extérieures dans la détermination des formes organiques apparaît ici encore nettement.

Le fait que les Bernards peuvent se passer, dans les grands fonds, de coquille protectrice (*Ostraconotus*), ou se contentent d'une coquille illusoire, implique qu'ils n'y courent pas de grands dangers et que par conséquent la lutte pour la vie n'y est pas très active. Effectivement, quelque groupe que l'on considère, les individus y sont trop rares pour se faire une concurrence sérieuse. La dissociation des espèces n'est donc pas liée ici à la sélection naturelle. Il est possible que les espèces du même genre qui sont distinctes dans la faune abyssale descendent d'espèces qui étaient déjà distinctes, quoique appartenant au même genre, dans la région littorale. Il est encore possible, même quand on adopterait le critérium si rarement applicable, de leur incapacité de s'unir entre elles, que leur formation soit une question de milieu chimique, et dès lors des espèces normales peuvent s'être formées, par dissociation d'un même type, à n'importe quelle profondeur. On ne saurait guère d'ailleurs s'expliquer qu'en se plaçant au point de vue chimique la couleur parfaitement inutile d'animaux qui vivent dans une obscurité complète.

La transparence, la couleur bleue des animaux pélagiques peuvent être considérées, nous l'avons vu, comme des caractères protecteurs de ces animaux qu'elle rend invisibles; ces couleurs ne se rencontrent pas chez les animaux des abîmes qui sont, en général, blancs (*Polycheles*, *Deima*), roses (*Penia*

gone), rouges (*Phormosoma*, beaucoup de crustacés décapodes nageurs), violets (certains décapodes nageurs, échinodermes des genres *Pourtalesia*, *Psychropotes*). Les poissons sont généralement noirs et leurs organes lumineux verts. S'ils appartiennent à des groupes connus, — le plus souvent du type des poissons abdominaux ou physostomes, — ils n'en présentent pas moins des caractères particuliers ; ils sont souvent pourvus de longs appendices tactiles, placés tantôt sur la tête, comme chez le *Melanocetes Johnsoni*, tantôts ous le menton, comme chez l'*Eustomias obscurus*, tantôt en avant des nageoires, comme chez le *Bathypteroïs longipes*, ou à ces deux places à la fois (*Echiostoma micripnus*). Nous retrouvons ici les mêmes faits que chez les crustacés décapodes, impliquant qu'ils ont été produits par les mêmes causes. Souvent aussi la bouche prend des proportions démesurées (*Malacosteus niger*, *Eurypharynx pelecanoïdes*). Peu de familles sont d'ailleurs représentées dans les grandes profondeurs ; ce sont celles des Scopélidés (1) qui sont aussi pélagiques, des Clupéidés dont les harengs sont les types vulgaires (2), des Stomiadés qui par la disposition de leurs nageoires impaires rappellent les brochets, toutes familles appartenant au groupe des poissons abdominaux. Les poissons subbrachiens sont représentés par des familles presque toutes malacoptérygiennes, celles des Gadidés (3), qui ont pour types les morues, des Macruridés au corps terminé en pointe, des Ophididés allongés comme des anguilles (4). La faune des poissons, où manquent, avec l'*Amphioxus*, les Lamproies, les Raies, presque tous les poissons à nageoire dorsale épineuse, qui sont les plus habiles nageurs, est donc comme les autres, une faune essentiellement lacunaire, faune d'émigration, par conséquent, et il va en être de même pour la faune des eaux douces.

Ici les conditions d'existence sont tout l'opposé de celles des régions abyssales ; à l'immobilité, à la constance de tempéra-

(1) *Scopelus, Saurus, Malacocephalus, Alepocephalus*, etc. — (2) *Halosaurus*. — (3) *Mora, Bathygadus, Coryphœnoïdes*. — (4) *Bathynectes crassus*.

ture et de composition des eaux, fait place une agitation incessante dans les cours d'eau, fréquente dans les eaux stagnantes ; la température et la composition de l'eau varient sans cesse. Les Phytozoaires ne se sont guère pliés à cette mobilité. On ne connaît parmi eux, dans les eaux douces, que quelques éponges siliceuses à spicules droits (*Spongilla*, *Parmula*, etc.), un très petit nombre de polypes hydraires ou de méduses (*Hydra, Cordylophora*, *Limnocodium, Limnocnida*), une Actinie fluviatile asiatique, des Bryozoaires phylactolèmes à polypier gélatineux et quelques gymnolèmes (*Arachnidium*, *Victorella*) ; ces animaux semblent de migration récente. Il est à remarquer que les éponges et les bryozoaires d'eau douce, outre la reproduction sexuée, sont doués d'un autre mode de reproduction consistant en ce que des fragments de leur substance s'enferment, au cours des saisons critiques, dans une enveloppe protectrice, leur permettant de résister aux causes de destruction qui pourraient les menacer, et échappent ainsi aux conséquences des vicissitudes si fréquentes dans les eaux douces. Ces fragments se débarrassent de cette enveloppe et évoluent en organismes nouveaux quand les circonstances redeviennent favorables. Ce sont les propagules ou les *cases à amphidiscus* des spongilles, les *statoblastes* des bryozoaires.

Les crustacés ne sont représentés que par les phyllopodes (1) qui remontent à une très haute antiquité, par un petit nombre de types de cladocères (2), d'ostracodes (3), de copépodes (4), d'isopodes (5), d'amphipodes (6) de schizopodes (7) et de décapodes (8). C'est très peu relativement au nombre immense des crustacés ; il s'y ajoute des acariens, des insectes redevenus aquatiques après avoir été aériens. Sauf de rares exceptions sur lesquelles M. Charles Gravier a appelé l'attention, les

(1) Estheridæ, *Apus cancriformis*, *Branchipus*, Écrevisses et genres voisins. — (2) Daphniidæ, Polyphemidæ. — (3) Cypridæ. — (4) Cyclopes. — (5) Asellidæ. — (6) *Idothea*. — (7) *Mysis relicta*. — (8) *Caridina*, *Palæmonetes Alphæopsis*, *Niphargus* et quelques crabes voisins du genre *Telphusa*.

Vers annelés appartiennent à la classe des Oligochètes ou Lombriciens, dont les Vers de terre représentent une forme géante, et à celle des Sangsues, qui n'ont en revanche qu'un petit nombre de formes marines, vraisemblablement importées par des poissons migrateurs. Parmi les Vers plats on ne peut signaler qu'un très petit nombre de Planaires et de Némertes. Les Échinodermes font entièrement défaut. Les Mollusques méritent une attention particulière : les Céphalopodes sont totalement absents; mais on peut compter plusieurs migrations successives de gasteropodes marins. Les Diotocardes sont représentés par les néritines; les Monotocardes herbivores par les ampullaires, les paludines, les valvées ; il n'existe aucun monotocarde carnassier, aucun opisthobranche, aucun ptéropode dans les eaux douces. En revanche, les Pulmonés y sont assez nombreux, mais on peut se demander s'ils ne descendent pas des pulmonés terrestres; cette faune est donc encore très réduite. Quant aux Lamellibranches, ils ne sont représentés que par des formes à manteau largement ouvert, primitives par conséquent : *Unio* ou mulettes des peintres, Anodontes, *Cyclas*, Iridines, etc., et par une seule forme à siphons, encore sont-ils simplement indiqués, la *Dreyssensia polymorpha*, qui pénètre dans les fleuves, portant avec elle le *Cordylophora lacustris* et un lombricien remarquable par ses soies de forme compliquée : le *Psammoryctes umbellifer*. Cette invasion semble n'avoir commencé que depuis le commencement du siècle, partant de la Baltique pour gagner d'abord la Tamise, puis la Seine.

Le groupe des poissons d'eau douce est des plus instructifs. C'est dans les lacs et les rivières que les poissons primitifs, fuyant la lutte pour la vie, trop active sur les rivages de la mer, se sont réfugiés à une époque lointaine, comme s'y réfugient encore, pour pondre et mettre leur jeune progéniture à l'abri, les esturgeons, les saumons et les aloses. Le nombre des animaux marins qui sont capables de supporter la suppression de la salure de l'eau de mer est, en effet, restreint ; ceux

qui possédaient cette *préadaptation* à la vie dans les eaux douces ou qui l'ont acquise n'ont pu être poursuivis par ceux de ce groupe qui ne la possédaient pas, et c'est ainsi que les fleuves et les marécages, d'abord déserts, ont été de bonne heure envahis par des fuyards qui préféraient le calme des solitudes à tous les dangers que pouvaient leur faire courir l'active et nombreuse population des rivages. La même recherche de la sécurité a donc peuplé la haute mer, les abîmes et les eaux douces. Si l'*Amphioxus*, le plus primitif des vertébrés, est demeuré caché dans le sable des rivages, les Lamproies sont devenues les unes, comme le *Petromyzon marinus*, des hôtes temporaires des eaux douces, où elles ne pénètrent que pour pondre, leurs jeunes devant passer dans le sable des fleuves, sous la forme d'*ammocètes*, les premiers temps de leur vie ; les autres, comme le *Petromyzon fluviatilis*, des hôtes définitifs des rivières. Un seul requin est devenu lacustre, *Carcharias gangeticus;* mais des trois types de poissons ganoïdes qui nous restent, les Esturgeons, les Lépidostées et les *Amia*, les premiers viennent pondre dans les fleuves et les deux autres ne quittent pas les rivières. De même les poissons crossoptérygiens, qui avec les ganoïdes étaient aux temps de la formation de la houille les poissons les plus communs et les plus élevés en organisation, ne sont plus représentés que dans les fleuves d'Afrique par les deux genres très voisins Polyptère et *Calamoichthys*. Les poissons dipnés, chez qui, pour la première fois, se sont développés, parmi les Vertébrés, des organes de respiration aérienne, des poumons, ne nous offrent plus également que trois genres, tous d'eau douce : les Protoptères d'Afrique, les Lépidosirens du Mexique et les *Neoceratodus* d'Australie. Cette répartition géographique indique qu'une première pénétration dans les eaux douces s'est produite presque simultanément sur de nombreux points du Globe pendant la période primaire. Mais, de même que pour les mollusques, elle n'a pas été la seule. Les poissons osseux ont envahi les fleuves à leur tour, peu de temps

après. L'une des plus anciennes familles de ce groupe, celle des Siluridés, mal représentée en Europe par deux ou trois espèces, le gigantesque *Silurus glanis* du Danube et le *Silurus Aristotelis* de Macédoine, mais d'une étonnante plasticité, a envahi presque tous les fleuves du monde, en variant ses formes qui ont été ensuite copiées par presque toutes les autres familles de poissons abdominaux d'eau douce, mais en gardant les caractères fondamentaux du squelette de son opercule. Elle a fourni, comme les raies, un groupe de poissons électriques, les Maloptérures d'Afrique. Puis est venue toute la série des poissons à nageoires ventrales éloignées des pectorales, comme chez les poissons primitifs, ceux que Cuvier a appelés les malacoptérygiens abdominaux et dont la vessie natatoire s'ouvre dans l'œsophage ou l'estomac (poissons physostomes de J. Muller) : c'est-à dire les truites, les brochets, la longue série des cyprins à laquelle appartiennent la plupart des poissons de nos rivières ou de nos étangs : goujons, barbeaux, chevaines, carpes, brêmes, gardons, tanches, loches, etc., et qui sont représentés ailleurs par les cyprinodontes. Les harengs, les sardines, les anchois, qui s'en rapprochent, sont demeurés marins, mais les aloses, qui appartiennent à la même famille, celle des clupéidés, viennent comme les saumons, voisins des truites, pondre dans les rivières. Ce sont des poissons du même groupe qui ont fourni, on l'a vu, le fond de la faune pélagique et de la faune ichthyologique abyssale. Ces deux immigrations dans les eaux douces ont été suivies d'une troisième, fournie par les poissons à nageoire dorsale molle, à nageoires ventrales rapprochées des pectorales et à vessie natatoire close ; mais celle-ci est encore moins nombreuse et elle n'est guère représentée dans les eaux douces d'Europe que par les lottes, apparentées aux morues. Quelques autres poissons se rattachent aux poissons de mer à nageoire dorsale en partie épineuse, qui comptent d'excellents nageurs auxquels les perches sont apparentées. Certains d'entre eux, ayant repris la vie littorale, comme les cottes

et les grondins, se sont ainsi trouvés prédisposés à entrer dans les eaux douces; à eux se rattachent les chabots de nos rivières.

Beaucoup de poissons de mer pondent des œufs innombrables, petits, et qu'ils abandonnent sans aucun souci. En général, les espèces qui ont pénétré dans les eaux douces et qui y sont demeurées appartiennent, au contraire, à des genres ou à des familles dont les œufs sont volumineux, peu nombreux, attachés par les parents sous les pierres, après les algues, ou abrités dans des coquilles vides, sinon pondus dans des sortes de nids préparés d'avance. La grosseur de ces œufs tient à ce qu'ils sont chargés de substances nutritives qui dispensent l'embryon de chercher une autre nourriture tant que la provision qu'elles constituent n'est pas épuisée. L'embryon grandit, dans ces conditions, plus vite, et quand il quitte l'œuf, en emportant souvent encore une partie de ces réserves dans ce qu'on appelle son sac vitellin, il a acquis une activité et une résistance suffisantes pour échapper à une grande partie des dangers qui le guettent. On observe aussi ce grossissement des œufs chez les crevettes qui pénètrent dans les eaux douces et qui, lorsqu'elles éclosent, sont tout près de leur forme définitive, tandis que leurs congénères ont encore de profondes transformations à subir. Cette même différence existe entre les langoustes et les homards. Les premières ont de petits œufs donnant naissance à des embryons nageurs et transparents, les phyllosomes, qui ne rappellent en rien les adultes; les seconds pondent au contraire de gros œufs, éclosent, sauf la taille, sous leur forme définitive, et c'est probablement ce qui a permis à des formes voisines de pénétrer dans les eaux douces où elles ont engendré les diverses formes d'écrevisses.

L'instabilité des conditions d'existence dans les eaux douces parait avoir eu, pour les Invertébrés qui y sont venus chercher la sécurité, une conséquence au premier abord singulière. Beaucoup y sont devenus hermaphrodites; c'est le cas des lombriciens, des sangsues d'où sont dérivés les vers plats, tréma-

todes, cestodes et turbellariés, et des gastéropodes pulmonés. Quoi qu'on en pense souvent, l'hermaphrodisme n'est pas un état initial; les éléments génitaux primitifs, les *spores*, simples cellules asexuées, se sont d'abord multipliés directement, sans fécondation ; c'est encore le cas chez beaucoup de cryptogames cellulaires et certains protozoaires ; mais même dans ces groupes, la différenciation sexuelle des éléments apparaît déjà, ainsi que la fécondation, chez les Infusoires ciliés, par exemple, les Sporozoaires et les Foraminifères ; et lorsque certaines cellules génitales se développent sans fécondation, comme chez les *Apus*, les branchipes, les daphnies, les pucerons, les cochenilles, les cynips, les guêpes, les abeilles, divers papillons dont le Bombyx du mûrier, certains vers nématodes libres, les rotifères, les gastérotriches, c'est une faculté qu'elles ont reconquise (1). La caractéristique des éléments sexuels mâles et femelles ressort nettement de leur comparaison dans les deux règnes. Les éléments mâles, nous l'avons vu, sont produits par des cellules qui se multiplient rapidement par division et sont incapables d'accumuler des réserves ; ils demeurent, en conséquence, petits et leur activité, d'ordre plutôt mécanique, se dépense en mouvements rapides de cils ou de flagellums vibrants ; ce sont les *anthérozoïdes* des végétaux cryptogames, les *spermatozoïdes* des animaux. Les éléments femelles sont produits, au contraire, par des cellules lentes à se diviser, surtout dans les dernières phases de leur évolution, et dont l'activité, essentiellement chimique, est tournée vers l'élaboration d'aliments de réserve qui s'accumulent dans leur protoplasme, augmentent leur volume, les alourdissent et suppriment chez elles toute possibilité de mouvement.

Ces caractères que revêtent déjà pour se reproduire, des êtres unicellulaires, avant de faire partie d'un organisme quelconque, se conservent chez tous les organismes vivants, et dans chaque espèce animale un même individu n'est, en général,

(1) Nous ne parlons pas ici de la parthénogénèse artificielle, qui est un phénomène demandant une étude spéciale.

capable de produire que l'une des deux catégories d'éléments sexuels. Cela est surtout frappant pour les espèces qui constituent des commencements de série et vivent, par conséquent, dans la mer. Il semble, au premier abord, que cette règle ne s'applique pas aux végétaux, chaque fleur étant hermaphrodite ; mais il ne faut pas oublier que, chez les végétaux, l'individu primordial est la feuille, de sorte que les plantes vasculaires peuvent être considérées comme un assemblage de feuilles; or, dans la fleur, les feuilles fertiles sont exclusivement mâles (*étamines*) ou femelles (*carpelles*) et par conséquent unisexuées. D'ailleurs, on s'en souvient, chez les plus anciennes plantes à fleurs, les fleurs mâles poussent ordinairement sur des rameaux différents de ceux qui portent les fleurs femelles ; les unes et les autres constituent des cônes ou des chatons exclusivement mâles ou femelles, et fréquemment la sexualité s'étend au végétal tout entier, auquel cas celui-ci est qualifié de dioïque.

Dans le règne animal, les individus mâles ou femelles participent nettement des caractères des éléments sexuels qu'ils produisent. Les femelles des espèces appartenant à une même souche généalogique se ressemblent, en général, beaucoup, et gardent des formes et des couleurs qui sont presque celles des jeunes individus de leur espèce, ce qui indique à la fois qu'elles ont une origine commune et qu'elles ont peu évolué. Elles sont de plus fortes dimensions que les mâles, assez souvent peu actives et accumulent, d'ordinaire, plus de substances de réserve dans leurs tissus. Les mâles, au contraire, dépensent en activité les produits de leur alimentation ; ils se colorent vivement ; des ornements de toutes sortes, cornes, défenses, crinière, panaches de plumes, aigrettes, s'ajoutent à la forme primitive qu'ont conservée les femelles ; parfois ils produisent des substances odorantes particulières. L'hérédité aidant, les caractères qu'ils ont acquis passent parfois aux femelles; c'est ainsi que les petits papillons bleus de nos champs qu'on nomme des *Argus* ont, en général, des femelles brunes

tachées de jaune ; mais la couleur bleue des mâles s'étend aux femelles chez quelques espèces ; de même, parmi les martins-pêcheurs, les alcyons ont des femelles grises, tandis que les mâles présentent ces magnifiques teintes bleues et fauves qui s'étendent aux deux sexes chez notre espèce commune.

L'incapacité des mâles de s'approvisionner de réserves a pour eux, dans les groupes du règne animal où l'organisme ne présente pas une grande résistance, une conséquence funeste. Déjà chez beaucoup d'insectes (1) leur vie est courte; ils ne s'occupent en rien d'assurer l'avenir des jeunes, et disparaissent aussitôt qu'ils ont rempli leur rôle unique de fécondateurs; chez d'autres, ils sont incapables de s'alimenter (2) ; chez des vers marins, tels que les Bonellies, dont la femelle est de la grosseur d'une noix, les mâles sont si petits qu'ils furent pris jadis pour des infusoires parasites de la matrice, où ils sont logés au nombre de sept ou huit.

Il semble y avoir là, au premier abord, un contraste entre leur amoindrissement et la splendeur qu'ils atteignent dans d'autres cas, et aussi une contradiction entre cet amoindrissement et l'avortement dont semblent frappées certaines femelles. Celles des vers luisants (3), de plusieurs papillons de nuit (4), des stylops sont dépourvues d'ailes; ces dernières sont réduites à des sacs à œufs et ne laissent saillir hors du corps des guêpes dont elles sont parasites que leur tête qui est presque informe. Mais tous ces faits, en apparence paradoxaux, se rangent sous une même discipline. C'est le développement et la nutrition des œufs, c'est-à-dire une accumulation de réserves dans des éléments qui appartiennent encore à la mère, et peut-être aussi le défaut d'emploi des ailes par un animal trop alourdi, qui a entraîné la réduction et la disparition de ces organes chez les Vers luisants et

(1) Abeilles, guêpes, fourmis, et beaucoup d'autres mouches à quatre ailes ou hyménoptères. — (2) Moustiques. — (3) *Lampyris noctiluca*. — (4) *Orgyia antiqua, Psyche helix, Cheimatobia brumata*, etc.

divers papillons femelles. Les mêmes causes ont déterminé le parasitisme des femelles des Stylops, parasitisme qui a entraîné, comme d'habitude, la déchéance complète de leur appareil locomoteur. Il s'agit ici d'un phénomène analogue à celui qu'on observe dans les familles des Chondracanthidés, qui sont des crustacés copépodes et des Bopyrides qui sont des isopodes. Les mâles, cent fois moins volumineux que les femelles, qui sont déformées et parasites, demeurent attachés comme des poux minuscules à l'abdomen de celles-ci ; les femelles des Bopyres sont fréquentes sous la carapace des crevettes qu'elles soulèvent sur l'un de ses côtés en une bosse irrégulière. Dans la famille des Lernéides, autres copépodes, les mâles et les femelles, d'abord petits et presque semblables, s'accouplent ; les mâles disparaissent alors et les femelles s'attachent en parasites aux branchies ou à d'autres organes des poissons, sur lesquels elles deviennent énormes, presque dépourvues de membres et si méconnaissables que Cuvier les classait parmi les Vers.

Il suit de tout ce que nous venons de dire que les individus du sexe masculin sont bien réellement affectés soit d'une incapacité nutritive, soit d'une orientation de leur organisme vers une dépense inutile qui nuit à l'accumulation des réserves alimentaires, qu'ils sont, en somme, des organismes appauvris et dont la pauvreté atteint les éléments reproducteurs eux-mêmes et leur impose leurs caractères spéciaux. La prédominance des mâles dans une population animale serait donc un signe de disette ou de suractivité.

Cette remarque nous conduit à rechercher si l'explication de l'hermaphrodisme ne se trouverait pas dans les conditions qui rendent précaire l'alimentation. Parmi elles, il en est une qui est particulièrement évidente, c'est l'abandon de la vie libre pour la vie sédentaire et notamment pour la fixation au sol, qui met l'animal à la merci de toutes les variations du milieu, auxquelles la liberté de la locomotion lui permet

de se soustraire. En dehors des phytozoaires, chez qui elle est originelle, cette fixation au sol se rencontre comme un accident chez les Cirripèdes qui sont des crustacés et chez les Tuniciers qui sont apparentés au plus primitif des vertébrés, l'*Amphioxus*. Dans les deux cas elle amène un changement complet des conditions d'existence après que l'animal a atteint la forme qui devrait être normalement définitive, et elle entraîne une déformation complète du corps. Les Cirripèdes et les Tuniciers sont hermaphrodites protandres, c'est-à-dire que chaque individu commence par être mâle, devient passagèrement à la fois mâle et femelle, puis passe définitivement à l'état de femelle. Que signifie ce phénomène très général ? Les Cirripèdes vont nous l'apprendre. Ici, il n'y a de mâles que dans certains genres. Ces mâles ne se fixent pas, demeurent très petits et n'ont qu'une courte existence. Comme les autres individus, en leur qualité d'hermaphrodites protandres, sont capables de se féconder réciproquement sinon eux-mêmes, les individus exclusivement mâles ne servent à rien, ce ne sont même pas comme on les appelle des *mâles complémentaires* ou *supplémentaires,* ce sont des mâles inutiles ou, si l'on veut leur *surnuméraires* donner une qualification, *surnuméraires*. Seulement leur existence qualifie les autres individus ; ils démontrent que chez les Cirripèdes, avant la fixation, les sexes étaient séparés, comme chez les autres crustacés. La fixation avec ses *aléa* a été fatale aux mâles qui sont devenus tellement rudimentaires qu'ils n'ont même pu acquérir d'organes de fixation ; les femelles, possédant des réserves et une aptitude nutritive spéciale, y ont résisté ; mais elles traversent une période critique, à la suite des métamorphoses qu'entraîne la fixation ; c'est à ce moment que leurs éléments génitaux évoluent vers le sexe mâle et reprennent leur qualité quand l'équilibre physiologique s'est rétabli. Il n'y a pas de mâles surérogatifs chez les Tuniciers, quoique leur évolution se poursuive beaucoup plus loin, puisque, grâce à la tachygénèse, elle conduit à la régénération de formes

libres. Mais leur histoire est tellement calquée sur celle des Cirripèdes qu'on ne peut douter que leur cas ait été le même.

Les recherches de Maupas (1) sur les Nématodes libres, lui ont permis de constater aussi, chez certains d'entre eux, l'existence de mâles surnuméraires. J'ai donné ailleurs (2) les raisons qui conduisent à considérer les Nématodes, non pas comme des Vers, ainsi qu'on le fait d'habitude, mais comme des arthropodes dégradés par l'inertie inhérente au parasitisme, à la façon de beaucoup de larves sédentaires d'insectes (3). Tant qu'ils sont parasites, ces animaux vivent dans la surabondance; le passage à la vie libre, qui est presque fatal dans des groupes où les œufs éclosent si souvent dans le sol ou dans l'eau, les ramène à des conditions précaires d'alimentation, par une autre voie, mais aussi sûrement que la fixation. Ici il y a eu encore un trouble profond dans la nutrition et nous retrouvons les mêmes faits : mâles rares et inertes, puis totalement absents; femelles hermaphrodites, et finalement parthénogénétiques, si les éléments génitaux se développent de très bonne heure par tachygénèse.

Le passage de la mer aux eaux douces : cours d'eau, étangs, marécages, lieux humides, expose également les animaux qui l'effectuent à de fâcheuses alternatives d'alimentation; elles doivent avoir les mêmes conséquences que dans les cas précédents, et nous avons ainsi l'explication de l'hermaphrodisme des Vers annelés d'eau douce (4), des Vers de terre, dont les espèces sont très nombreuses, et des Sangsues qui en dérivent, hermaphrodisme qui contraste avec la séparation si générale des sexes chez les Vers annelés marins.

Il en est exactement de même des mollusques gastéropodes

(1) **LV**, 463. — (2) **LIII**, 1345. — (3) Larves de coléoptères habitant les fruits, creusant le bois; larves d'hyménoptères claustrées et approvisionnées par leurs parents ou nourries par eux; larves de diptères vivant dans les matières organiques, qui toutes sont désignées dans le langage courant sous le nom de *vers*. — (4) *Dero, Naïs, Stylaria, Tubifex, Euaxes*.

pulmonés, dont l'escargot commun est le type, et qui sont représentés dans les eaux douces et dans toutes les régions humides de la terre ferme par une quantité innombrable d'espèces. Tous sont hermaphrodites, alors que les gastéropodes marins à coquille enroulée en hélice et à branchies abritées dans une cavité spéciale, située en avant du cône dorsal (1), sont tous unisexués.

Les Lamellibranches marins, qui mènent une vie sédentaire, sont, comme les animaux fixés, souvent hermaphrodites ; l'hermaphrodisme est nettement protandre aussi chez les huîtres, qui sont fixées, comme chez les tuniciers (2). On est peu renseigné sur les conditions sexuelles des autres lamellibranches.

On pourrait, à la vérité, objecter à cette théorie de l'hermaphrodisme déterminé par les conditions précaires de l'alimentation notamment dans les eaux douces et sur la terre, que l'on connaît de véritables parasites, tels que les Douves du foie des moutons et les animaux analogues (3), qui sont hermaphrodites, qu'on retrouve cet hermaphrodisme chez les Turbellariés, qui sont libres et composent avec eux l'ordre des *Vers plats*, dont il faut exclure les Némertes ; que tout l'ordre marin des mollusques gastéropodes, sans cavité branchiale antérieure, est composé d'animaux hermaphrodites (4). Mais quelques remarques fort simples enlèveront toute valeur à ces objections.

En premier lieu, si l'organisation des vers plats hermaphrodites est tellement dégradée qu'on a été tenté, à diverses reprises, de les représenter comme des animaux primitifs, leur double appareil génital conserve une structure compliquée, très spéciale, d'un type constant et nettement déterminé. Cela suffit à indiquer qu'il s'agit ici d'un groupe d'animaux en voie de dégénérescence, issus d'un groupe supérieur. Le seul point de départ auquel on puisse songer est la classe des sangsues, manifestement issues elles-mêmes des vers de terre dont l'orga-

(1) On les nomme *Prosobranches*. — (2) LVI. — (3) Ils forment deux classes de vers plats, celle des Trématodes et celle des Cestodes ou Ténias. — (4) On les nomme *Opisthobranches*.

nisation est tellement voisine de la leur que l'un des hommes les plus compétents en ce qui touche l'histoire des Lombrics, Franz Vejdowsky (1), a pu classer parmi les Naïdiens de véritables sangsues, les Branchiobdelles; les caractères les plus saillants des sangsues se retrouvent aussi chez certains lombrics de l'Afrique Centrale, les POLYTOREUTIDÆ (2), dont tous les orifices reproducteurs sont, comme chez elles, placés sur la ligne médiane ventrale au lieu de se disposer symétriquement, comme d'habitude. Les Sangsues, en devenant carnassières ou parasites, ont simplement conservé, par hérédité, l'hermaphrodisme de leurs ancêtres lombriciens qui l'avaient acquis en devenant de marins lacustres ou terrestres; elles l'ont transmis aux Trémato des qui, devenant libres, ont eux-mêmes donné naissance aux Turbellariés.

L'explication de la présence dans la mer d'Opisthobranches tous hermaphrodites est encore plus simple. Ces animaux ont, comme les Pulmonés, perdu leur branchie primitive; cette perte conduit à penser que les Opisthobranches ancestraux sont sortis de l'eau à un certain moment et ont vécu à l'air libre, ou tout au moins dans une zone littorale basse, sujette aux marées, souvent et longtemps découverte. A part les Ptéropodes pélagiques qui en dérivent, c'est d'ailleurs là qu'ils se tiennent encore. S'ils étaient demeurés aquatiques, ils auraient gardé leur appareil branchial; il n'y avait aucune raison pour qu'ils perdissent, une fois acquise, une disposition respiratoire éminemment avantageuse. C'est donc au moment d'un changement de séjour qu'ils sont devenus hermaphrodites comme les Pulmonés, qui ont aussi perdu leurs branchies et qui présentent avec eux assez d'analogies pour qu'on puisse se demander s'il n'y a pas entre ces deux ordres une parenté généalogique, et s'ils ne sont pas reliés par certaines formes menant encore une vie aérienne (3). Revenus dans leur premier milieu, leur branchie s'est reconstituée à nouveaux frais

(1) **LVII**, 38. — (2) **LXXII**. — (3) Les *Oncidium*.

autour de l'anus (1), sur le dos (2), sur l'un des côtés du corps (3) ou même sur les deux côtés (4).

L'accès de la terre ferme n'a pas été aussi facile qu'on pourrait l'imaginer. Il était nécessaire qu'il fût tout d'abord préparé; cette préparation, en qui on peut voir, si l'on veut, une *préadaptation*, a d'ailleurs toujours consisté dans la disparition de l'appareil externe de respiration aquatique dont il reste parfois des traces, disparition qui souvent s'est produite déjà chez des animaux marins immigrés dans les eaux douces. A cet appareil s'est substitué un appareil de respiration interne, à l'abri, par conséquent, de la dessiccation que n'a pas à redouter un animal marin dont l'appareil respiratoire, toujours immergé, n'a besoin d'être protégé que contre les chocs ou la gourmandise des petits êtres carnassiers, mais à laquelle est incessamment exposé un animal aérien. Quelquefois les branchies, qui constituent l'appareil de respiration aquatique par excellence, n'ont pas été remplacées, la surface du corps suffisant à tenir leur rôle : c'est ce qui est arrivé pour les Vers de terre, et leur voisins les Vers annelés d'eau douce et les Sangsues. Chez ceux de ces animaux qui habitent les eaux douces ou sont revenus à la mer, des branchies ont pu, dans certains cas, se régénérer, comme cela s'est produit chez les gastéropodes opisthobranches; c'est ainsi que de fort jolis petits vers d'eau douce, les *Dero* (LVIII), ont à l'extrémité postérieure du corps un large pavillon supportant quatre digitations rétractiles, le tout constituant un appareil respiratoire sur lequel le renouvellement de l'eau est assuré par le battement de cils vibratiles puissants; de même les *Ozobranchus*, sangsues qui vivent dans la bouche des crocodiles, des tortues marines et des pélicans, et les Branchellions, sangsues marines qui vivent sur les torpilles, ont régénéré des branchies en forme de touffes chez les premières, de cornets chez les secondes.

(1) Doridiens. — (2) Nudibranches. — (3) Ombrelles, Pleurobranches, Aplysies. — (4) Phyllidies.

La substitution d'un appareil respiratoire interne à l'appareil branchial n'a pu consister naturellement que dans l'invagination à l'intérieur de quelque partie du tégument ou dans l'appropriation à la fonction respiratoire d'organes internes en rapport avec l'extérieur, comme c'est le cas pour l'appareil digestif. Par une application nouvelle du principe « *Tout ce qui est possible se fait* », les deux types ont été réalisés d'une façon parfois assez inattendue et indépendamment d'ailleurs des conditions d'habitat : les larves de Libellule, tout en demeurant aquatiques, ont un appareil de respiration interne constitué aux dépens de la région rectale de leur tube digestif ; cette même région rectale, pourvue de cils vibratiles puissants, constitue pour les Lombriciens aquatiques un appareil respiratoire supplémentaire ; de singuliers vers marins dépourvus de soies locomotrices, les Balanoglosses, ont au contraire constitué un appareil respiratoire aux dépens de leur œsophage ; il consiste en une série de poches latérales, symétriques, communiquant d'une part avec l'œsophage, d'autre part avec l'extérieur. Cette disposition se retrouve, parmi les poissons, chez les Bdellostomes, les jeunes Lamproies, et légèrement modifiée chez les Myxines et les Lamproies adultes ; les poches ont été remplacées par de simples fentes chez tous les Requins et les Raies, fentes dont les cloisons de séparation ne sont plus représentées que par des arcs couverts d'une double rangée de pointes disposées en dents de peigne chez les Esturgeons et les Poissons à squelette osseux. Les poches des Lamproies ont été sans doute précédées, elles aussi, par de simples fentes, puisque telle est la forme présentée par l'appareil respiratoire de l'*Amphioxus*, duquel est dérivé le vaste sac branchial des Tuniciers, constituant une sorte de gouffre œsophagien.

Malgré leur revêtement chitineux, c'est par une simple invagination à l'intérieur des téguments que se constitue l'appareil de respiration interne des Arthropodes. C'est aussi

de cette façon que prennent naissance les glandes tégumentaires de ces animaux, et notamment les très importantes *glandes coxales*, liées à la base des appendices, et qui deviennent, suivant les circonstances, des *glandes salivaires*, des *glandes à venin,* annexes de la trompe des moustiques ou de l'aiguillon des abeilles, ou des *reins*, comme la glande verte des Ecrevisses, qui a son analogue chez les Langoustes, les Crevettes, les Crabes et leurs congénères, et qui s'ouvre à la base de leurs antennes. Cette similitude d'origine entraînant une certaine similitude d'organisation, a conduit à l'idée que, tout au moins dans certains cas, les glandes tégumentaires avaient pu se transformer en tubes respiratoires. Quoi qu'il en soit, il semble bien que quatre groupes d'arthropodes : les Péripates, les Arachnides, les Myriapodes et les Insectes, aient acquis d'une manière indépendante un appareil respiratoire interne, constitué cependant d'une façon très analogue, au moins sous sa forme définitive.

Les Péripates sont des animaux très singuliers, vivant sous les pierres, dans la poudre résultant de la décomposition du bois, dans les arbres vermoulus et, en général, parmi les débris végétaux. Ils ressemblent à des chenilles dont toutes les pattes seraient membraneuses, et dont le corps, terminé en avant par une paire d'antennes, ne présenterait pas de tête distincte. Par ce mode de constitution du corps, les Péripates rappellent les Vers annelés, mais leur corps est protégé par un revêtement chitineux d'une épaisseur comparable à celui des Arthropodes; ce sont des animaux très anciens provenant sans doute de la première émigration des animaux segmentés vers la terre ferme, car on les retrouve en des points très éloignés qui ne peuvent guère être rattachés qu'à l'ancien continent de Gondwana : le cap de Bonne-Espérance, la Nouvelle-Zélande, la vallée de l'Amazone, etc. Leur appareil respiratoire consiste en de nombreuses invaginations des parties minces du tégument, naissant aussi bien de la face dorsale que de la face

ventrale du corps, voire même de la surface des pattes membraneuses, et constituant autant de tubes internes qui, après s'être épanouis en ombrelle, donnent naissance à un bouquet de tubes grêles divergeant du centre de l'ombrelle et se terminant en cul-de-sac, sans aucune ramification. C'est ce qu'on nomme leurs *trachées*, et ce nom de trachées est attribué à tous les tubes respiratoires internes des arthropodes, quelles que soient leur forme et leur origine. On ne peut voir aucun rapport entre ces tubes respiratoires, très nombreux, sans position morphologique déterminée, et ce qu'on appelle les poumons chez les Arachnides. Mac Leod a émis sur l'origine de ces derniers organes une hypothèse intéressante que ne suffisent pas à renverser les observations de Marie Pereyaslawzeva (1). Pour lui les poumons des Scorpions ne seraient qu'une modification, en somme, légère de l'appareil branchial des Limules. L'abdomen de ces animaux, qui sont les plus anciens des arthropodes connus, puisqu'on les a retrouvés dans la période silurienne, porte des pattes aplaties, en forme de larges lamelles chitineuses, derrière lesquelles s'abrite toute une série de minces feuillets superposés comme ceux d'un livre. Si la portion du tégument qui supporte ces feuillets s'invaginait à l'intérieur du corps, entraînant avec elle les feuillets, tandis que la lame protectrice, constituée par la patte se raccourcirait, il se produirait, par une conséquence nécessaire, une poche contenant une série de feuillets et s'ouvrant à l'extérieur par une fente, c'est-à-dire un *poumon* de Scorpion pourvu de son stigmate. Le poumon des Thélyphones, des Phrynes, des Araignées ne diffère en rien de celui des Scorpions; l'explication de Mac Leod (2) s'étend par conséquent

(1) Ces objections sont fondées sur un défaut de concordance entre l'ordre d'apparition des parties des poumons dans l'embryon et l'ordre théorique que devrait suivre la formation de ces parties dans l'hypothèse de Mac Leod; mais on sait que de tels renversements sont fréquents dans le développememt embryogénique et sont des conséquences de la tachygénèse. (LXXII, 247). — (2) LIX.

à eux. M. Ed. Lamy, d'autre part, a suivi pas à pas leur métamorphose en tubes trachéens chez les Araignées (1). Cette métamorphose est complète pour la deuxième paire de poumons des Dysdères et des Ségestries, qui demeurent des araignées normales par tout le reste de leur organisation. Deux trachées coexistent, d'ailleurs, avec les poumons chez toutes les autres araignées, mais sont reportées vers l'extrémité postérieure du corps et n'ont à elles deux qu'un seul stigmate médian, placé en avant des filières. Chez les Galéodes, les Faucheurs, les Faux-scorpions, la métamorphose atteint tout l'appareil pulmonaire; ces arachnides sont, pour cette raison, dites trachéennes. Les Mites ou Acariens, en général de petite taille et souvent parasites, ne respirent aussi que par des trachées, et semblent ainsi des arachnides dégénérées, mais la position et le nombre, variables d'un genre à l'autre, de leurs stigmates, qui peuvent disparaître complètement, rend jusqu'à présent assez incertaine l'assimilation de leurs trachées avec les organes respiratoires des autres arachnides. Il n'en reste pas moins qu'avec les Arachnides nous assistons à un mode de formation des organes respiratoires internes, différent de celui que nous avons rencontré chez les Péripates, et que les Arachnides représentent un second groupe d'émigrants vers la terre, groupe également très ancien et qui remonte à la période silurienne ; des Scorpions ont, en effet, été trouvés dans les terrains siluriens, notamment dans l'île de Gothland. Les Arachnides se rattachent d'ailleurs à une classe d'arthropodes où les premiers appendices du corps, antérieurs à la bouche ou voisins d'elle, sont encore au moins partiellement utilisés pour d'autres fonctions que la rétention ou la trituration des aliments et qui composent avec les Ptérygotes, les Euryptères, les Limules, les Trilobites, la classe des MÉROSTOMÉS.

Avec les Mille-pieds ou Myriapodes nous arrivons à une

(1) LX, 836.

classe manifestement dérivée des vrais crustacés, chez qui les cinq premières paires d'appendices sont spécialisées dans des fonctions tactiles ou masticatrices; seulement ici les segments porteurs de ces appendices, plus ou moins distincts chez les crustacés, se confondent en une seule masse où rien ne permet plus de distinguer leurs limites et qu'on nomme la *tête*. Tous les autres segments se ressemblent, et comme ils sont en nombre variable, on ne peut rattacher les Myriapodes qu'aux crustacés inférieurs ou entomostracés. Ceux-ci constituent un type bien distinct de celui des Mérostomés venus après eux, tout en demeurant aquatiques. Chez eux cependant il se développe un appareil trachéen très semblable à celui des Arachnides dont les stigmates sont aussi voisins des pattes et au nombre d'une paire par segment, sauf chez les Scutigères où il n'existe que sept sigmates placés sur la ligne médiane dorsale du corps. Les Myriapodes représentent, en somme, une troisième émigration des arthropodes vers la terre, et leur appareil respiratoire, malgré ses ressemblances avec celui des Péripates et des Arachnides trachéennes, s'est formé d'une manière indépendante, contrairement au vieil adage : *La nature ne se répète pas.*

Les Insectes constituent une quatrième émigration effectuée non plus par des Entomostracés ayant au corps un nombre de segments variable d'un type à l'autre, mais par des Malacostracés, ou crustacés supérieurs, qui s'échelonnent des Cloportes aux Écrevisses, en passant par les Crevettines des ruisseaux, et les Crevettes, pour aboutir aux Crabes. Ces crustacés sont innombrables, mais tous ont 21 segments au corps. Les Cloportes et quelques formes voisines ont émigré sur la terre en conservant tous leurs caractères de crustacés isopodes; toutefois de petits tubes, ébauches de courtes trachées, se développent sur les pattes respiratoires que porte leur abdomen. Les Aselles, leurs voisins, ont émigré dans les eaux douces sans modification importante, et l'on trouve dans les eaux souterraine

quelques autres formes d'origine manifestement marine, puisque des espèces du même genre vivent encore dans la mer; de même les Crevettines (*Gammarus*), qui sont des amphipodes, les *Palæmonetes*, les *Palæmonella*, les *Caridina*, qui sont presque des crevettes, les *Telphusa*, qui sont des crabes, ont pénétré dans les eaux douces, et certains crabes, les Birgues, les Gécarcins, qui sont des décapodes, sont même devenus terrestres. Mais ce ne sont là que des émigrations, pour ainsi dire, personnelles, de date relativement récente, comme les formes qui les ont effectuées ; sans doute, elles continuent encore de se produire. Elles n'ont rien changé à l'économie générale de la Nature.

Il n'en est pas de même de celle qui a donné naissance aux Insectes, dont le rôle est aujourd'hui si considérable. Avec eux une conquête nouvelle se prépare, celle de l'air. Jusqu'à eux, les spores des plantes cryptogames, les grains de pollen des conifères, peut-être les kystes des infusoires ont été, grâce au vent qui les emportait, les seules créations de la vie qui aient pénétré dans l'atmosphère, et elles n'étaient que poussière. Dans la mousse ne rampaient d'abord que des êtres étranges, comme les *Acantherpestes*, les *Palæocampa*, les *Euphorberia*, qui ont quelque chose des Péripates, mais sont plus variés dans leurs formes, et portent souvent des appendices dorsaux dont quelques-uns ont été interprétés comme représentant des branchies. C'était sans doute la seule proie qui fût offerte aux premiers scorpions. Les myriapodes eux-mêmes, rapides à la course, mais demeurant appliqués aux surfaces qu'ils parcourent, n'apportaient qu'une bien faible modification aux manifestations de la vie. A l'apparition des insectes tout change : des animaux aux membres allongés, d'une grande vivacité d'allures, se multiplient partout; des organes locomoteurs tout nouveaux, les *ailes*, les emportent dans l'atmosphère; ils parcourent au vol, d'un seul élan, des distances considérables. Le monde ne con-

naissait guère d'autres bruits que ceux produits par le souffle du vent, le bruissement des rameaux agités sur son passage, la chute des strobiles des conifères, que dominaient trop souvent le mugissement de la tempête, le murmure des rivières, le grondement des vagues en furie, les éclats de la foudre, les explosions des volcans ou les roulements souterrains précurseurs des tremblements de terre. Bientôt on entendra le bourdonnement des ailes aux vibrations rapides, auquel viendront s'ajouter les stridulations des cigales, des sauterelles, des grillons, des criquets qui chanteront, à l'orée des forêts obscures, la fête du soleil. Innombrables, les Insectes vont porter partout une animation nouvelle. Ils pulluleront sur les plantes, dévoreront leurs feuilles, tarauderont leur bois, suceront leur sève, humeront le nectar de leurs fleurs, feront naître par leur piqûre, à la surface des tiges ou des feuilles, des tumeurs bizarres, les galles, mais aussi féconderont les fleurs, fabriqueront la cire, le miel et la soie, et s'ils deviennent parfois incommodes, comme les mouches, ou actifs propagateurs de maladies, comme tous ceux qui piquent pour sucer le sang, ils formeront pour beaucoup d'autres animaux, grâce à leur fécondité, une inépuisable réserve d'aliments. L'apparition des insectes est donc un événement considérable dans la nature et qui vaut d'être étudié de près.

Il n'est pas douteux que ces animaux proviennent de crustacés supérieurs chez qui le nombre de segments s'était fixé à vingt et un. Le nombre des segments des Insectes est un peu inférieur; il est au maximum de dix-neuf chez les larves de forme primitive; il peut diminuer par avortement ou transformation des derniers segments du corps; il n'augmente jamais. Les appendices qui entourent la bouche sont au nombre de cinq paires comme chez tous les Crustacés (1), et ce nombre demeure aussi constant. De plus, les mâchoires et les maxilles sont

(1) Ce sont ici les *antennes*, le *labre*, les *mandibules*, les *mâchoires* et la *lèvre inférieure* résultant de la soudure des deux *maxilles*.

bifurquées, comme les pattes des crustacés, et présentent, portés sur une base formée de deux articles, un rameau intérieur, l'*endopodite*, et un rameau extérieur, l'*exopodite*, généralement transformé en un organe tactile, le *palpe*. Ces appendices sont suivis, chez les crustacés décapodes, de trois autres paires d'appendices, plus ou moins locomoteurs, aidant aussi à la préhension des aliments, les pattes-mâchoires; il y a enfin cinq paires de pattes ambulatoires et des pattes abdominales. Les trois paires de pattes-mâchoires sont devenues les pattes thoraciques des insectes, toutes les autres ont disparu, sauf à l'extrémité postérieure de l'abdomen, où il existe souvent des appendices libres, nommés *cerques*, et d'autres utilisés pour la constitution de l'appareil génital externe. Les Machiles, les Lépismes, les *Campodea*, les *Japyx*, quelques Staphylins (1) possèdent seuls de véritables pattes abdominales, se répétant, chez les premiers, sur presque tous les segments de l'abdomen, limitées chez les seconds aux derniers segments, aux premiers chez les autres. Partout ailleurs l'abdomen est dépourvu d'appendices, mais porte en revanche autant de stigmates latéraux que de segments. On ne saurait dire s'il y a ici un rapport entre ces deux faits, comme c'est le cas chez les scorpions. En out cas, les pattes-mâchoires ont repris leurs fonctions locomotrices et suffisent à les remplir. Les trois segments qui les portent constituent le *thorax*; de ces trois segments les deux derniers sont pourvus d'ailes. Il est peu vraisemblable que ces ailes se soient formées de toutes pièces, sans aucun rapport avec des parties déjà existantes chez les crustacés originels. On tombe généralement d'accord qu'elles ont été primitivement des organes respiratoires; la question est donc ramenée à celle-ci : existe-t-il chez les crustacés décapodes quelque organe respiratoire susceptible d'être comparé aux ailes des insectes? Cet organe existe réellement ; nous avons vu que le deuxième

(1) *Spirachta eurymedusa*

segment de la patte de ces animaux porte un rameau articulé, comme la patte elle-même, et qu'on nomme l'*exopodite*. Le premier segment porte aussi un appendice, l'*épipodite*; mais cet appendice est inarticulé, en forme de lame lancéolée; il se dresse sous la carapace, en se dirigeant vers le haut, et il supporte d'ordinaire des filaments branchiaux; c'est donc un organe respiratoire. Supposez que la carapace, volet protecteur des branchies, disparaisse avec celles-ci, et laisse ainsi l'épipodite à découvert; admettez que le segment de la patte qui porte ce dernier se confonde en s'élargissant avec la paroi du corps, l'épipodite, déjà dirigé vers le dos et mobile dans une certaine mesure, sera reporté sur la face dorsale, juste à la place des ailes. Il est donc très vraisemblable que celles-ci étaient primitivement des dépendances respiratoires des pattes, des épipodites, et que c'est par un *changement de fonction* que ces épipodites sont devenus des ailes, après la disparition de la carapace. Leurs battements n'avaient peut-être tout d'abord pour objet que de renouveler l'air autour de l'insecte, et de favoriser sa respiration devenue, grâce aux trachées aériennes, très intense. L'aile n'est donc pas un organe nouveau, mais une appropriation à une autre fonction d'un organe préexistant. Sans cet organe, le vol des insectes n'aurait jamais été réalisé; on pourrait donc voir en lui une *préadaptation* au vol, et ce simple rapprochement suffit à indiquer combien ce mot est vague, imprécis, élastique, capable par conséquent de donner lieu à de fausses interprétations.

Nous venons d'assister à la création de l'Insecte. Les plus anciens de ces animaux étaient déjà représentés par des névroptères et des hémiptères durant la période dévonienne; on a même trouvé, croit-on, une aile d'hémiptère dans les terrains siluriens; en tout cas la période carbonifère voit éclore des Ephémères énormes, des Libellules de 70 centimètres d'envergure, des Phasmes gigantesques, des précurseurs des Termites, des Cigales, des Fulgores et des hémiptères actuels

dont le corps possède en naissant, à très peu de chose près, sa forme définitive, qui n'ont plus qu'à acquérir des ailes, demeurent actifs pendant la période de formation de celles-ci et n'ont pas à traverser la crise d'immobilité et de rénovation qui constitue la métamorphose chez les formes plus récentes.

Les prairies et les forêts s'animent aussi. Mais à ce moment un autre phénomène de plus haute importance encore s'est produit : l'invasion du sol par les vertébrés. Ce sont naturellement les poissons qui ont été dans l'évolution organique; le point de départ, de ce progrès qui nécessitait deux choses : 1° une modification importante de l'appareil respiratoire le mettant à l'abri des dommages qui auraient pu résulter pour lui des variations considérables de l'état hygrométrique de l'air; 2° la transformation des nageoires en pattes propres à marcher. Nous ignorons sur quels poissons fossiles a commencé à se préparer la constitution des poumons; mais certains poissons actuels peuvent nous donner une idée de ce qui s'est passé. Ce sont des Poissons anciens, tels que les Polyptères et les Protoptères des fleuves africains, les Lépidosirens d'Amérique, les *Neoceratodus* d'Australie, ou relativement modernes comme les Siluridés des genres Hétérobranche et Saccobranche qui habitent le Nil. Tous ces Poissons d'eau douce vivent dans de grands fleuves sujets à des crues qui rendent leur eau extrêmement bourbeuse; la respiration des Poissons est fortement gênée pendant la période où les eaux sont ainsi souillées, et ils sont obligés de faire passer un courant plus rapide de sang dans leurs branchies, de manière à les maintenir en activité. Les branchies sont ainsi plus abondamment nourries; leur épiderme se développe plus rapidement, et finit par donner naissance à des arborescences constituant des branchies supplémentaires. Ces arborescences sont très développées chez certains poissons de la famille des Siluridés, les Hétérobranches et les *Clarias*, et elles sont contenues dans une expansion en forme de sac de la cavité bran-

chiale. A ces arborescences correspondent certainement les branchies externes qu'on observe, dans le jeune âge, chez les Polyptères, et qui sont tout au moins représentées chez les poissons ganoïdes ; elles sont très apparentes chez les jeunes poissons dipnés. D'autre part l'expansion en forme de sac de la cavité branchiale des Hétérobranches correspond, à son tour, par tous ses rapports vasculaires à une paire de longs sacs annexée à la cavité branchiale chez les Saccobranches et les *Amphipnous*, qui sont aussi des siluridés. Les organes qu'on appelle *poumons* chez les poissons dipnés ne diffèrent en rien de ces sacs par leurs rapports vasculaires ; ils sont eux-mêmes exactement équivalents aux poumons des Batraciens, animaux pourvus dans le jeune âge et parfois toute leur vie de branchies externes. Certes il n'y a pas de parenté généalogique entre les poissons de la famille des Siluridés et les Batraciens ; il n'est même pas absolument démontré que ceux-ci descendent directement des Poissons dipnés ; mais si nous admettons, ce qui a déjà été surabondamment démontré, que *les mêmes mécanismes agissant sur des organismes ayant la même constitution fondamentale produisent les mêmes effets*, les dispositions que nous venons de rapprocher autorisent à penser que les Batraciens doivent leurs branchies externes et leurs poumons au fait que leurs ancêtres ont longtemps vécu dans des eaux fréquemment troublées : des marécages ou des rivières boueuses, comme c'est le cas des Dipnés. Le principe que nous venons d'invoquer est d'ailleurs le même qui a déterminé les ressemblances, dues à d'autres causes que l'hérédité, présentées par divers animaux et qui ont reçu récemment le nom de phénomènes de *convergence*, beaucoup moins exact que celui de phénomènes de *parallélisme* par lequel Isidore Geoffroy Saint-Hilaire les désignait.

Désormais les Vertébrés sont pourvus d'un appareil qui leur permet de braver la dessiccation et de respirer l'air en nature ; mais ils ne peuvent progresser sur le sol à l'aide de nageoires ;

il leur faut des *pattes*. Comment ces pattes ont-elles pu dériver des nageoires dont elles ont certainement pris la place, puisqu'on ne peut douter que les Batraciens amphibies descendent des Poissons et sont le lien qui unit ces derniers aux premiers vertébrés franchement terrestres : les Reptiles? Ici nous demeurons dans l'obscurité; mais encore faut-il savoir pourquoi. Il y a quelques poissons qui marchent à l'aide de leurs nageoires; malheureusement ce sont des poissons très différents des formes primitives et dont les essais relativement récents dans ce genre de locomotion sont demeurés fort éloignés de la perfection. Leurs nageoires sont si peu propres à la marche que les *Anabas*, à qui des dispositions spéciales de leur chambre branchiale permettent de vivre un certain temps à l'air libre, préfèrent, pour grimper sur les arbres, se servir des épines de leur opercule et des rayons de leur nageoire caudale plutôt que d'user de leurs nageoires pectorales. Toutefois les Périophtalmes, qui se tiennent plus souvent hors de l'eau que dans l'eau, marchent à l'aide de leurs nageoires pectorales qui ne présentent de ce chef aucune modification particulière. Les Grondins et les Rougets marchent sur le sable à l'aide de trois des rayons antérieurs de leur nageoire pectorale devenus libres et qui se meuvent comme des doigts. Les Baudroies et les poissons analogues se servent aussi de leurs nageoires pectorales pour marcher sur le sable, mais il y a ici un curieux phénomène de parallélisme : la portion des nageoires pectorales correspondant aux rayons secondaires est attachée comme une main à une sorte de bras soutenu par deux rayons primaires qui rappellent un radius et un cubitus et qui sont eux-mêmes mobiles sur une pièce impaire ressemblant à un humérus. Il n'y a, bien entendu, aucun rapport généalogique entre le pseudo-bras des Baudroies et la patte antérieure des Batraciens, mais le fait qu'une semblable disposition a pu être tardivement réalisée aux dépens d'une nageoire déjà très modifiée, montre qu'elle a pu l'être aussi aux dépens des nageoires primitives, sous l'action des mêmes conditions mécaniques.

Malheureusement, des Poissons dipnés si voisins des Batraciens sous tant de rapports, il ne nous est resté, soit à l'état vivant, soit à l'état fossile, que des formes dont les nageoires n'ont guère pour squelette qu'un axe formé de pièces placées bout à bout, qui demeure à peu près simple chez les Protoptères et les *Lepidosiren* et porte une double série pennée de rayons multiarticulés chez les *Ceratodus*. Nous ne pouvons tirer de là aucune indication quant à l'origine des pattes. Nous avons cependant une certitude qu'elles dérivent des nageoires. Effectivement tous les Poissons, tous les Vertébrés supérieurs naissent munis de leurs membres ; seuls les Batraciens en sont dépourvus en naissant, et il se passe un long temps avant qu'ils en acquièrent ; leurs pattes se forment tardivement, d'une manière toute spéciale, non plus comme des dépendances des segments musculaires ou myotomes du corps de l'embryon, ainsi que cela a lieu chez tous les autres Vertébrés, mais grâce au développement de petits bourgeons internes et isolés ; les antérieures demeurent longtemps cachées sous la peau chez les Grenouilles, les Crapauds et les autres Batraciens sans queue. Ce retard dans l'apparition des membres s'explique si on admet qu'il correspond à une période où les nageoires que les Batraciens primitifs tenaient des Poissons, leurs ancêtres, après s'être normalement constituées, se résorbaient pour être remplacées par des pattes. Suivant le mode habituel de la tachygénèse, à une période normale où les nageoires se transformaient graduellement en pattes, sans cesser d'agir, a dû succéder une période où les éléments primitivement épars qui opéraient cette transformation étaient mis en réserve, et ne commençaient à évoluer, pour produire des pattes, qu'à partir du moment où s'amorçait la résorption de la nageoire. Plus tard, la formation de la nageoire destinée à disparaître a été économisée toujours par tachygénèse, et les pattes se sont développées directement, mais tardivement, sans constitution préalable de nageoires. Tout s'arrange ainsi, mais nous reconnaissons sans

peine que le moindre membre intermédiaire entre une nageoire et une patte serait infiniment préférable à notre hypothèse, si plausible qu'elle soit.

Les pattes apparaissent donc tardivement et brusquement; mais l'accélération embryogénique continuant son œuvre, peu à peu elles abandonnent le mode de formation par bourgeon dormant qu'elles ont présenté chez les Batraciens; elles se forment de plus en plus tôt, et finissent par revenir au mode de développement primitif des nageoires, par la formation de deux bourgeons sur autant de segments musculaires consécutifs de l'embryon. Ce retour, paradoxal en apparence, est réalisé déjà chez les Reptiles. Il tient sans doute à ce que les segments musculaires de l'embryon en voie de formation, qui contribuaient, au cours de leur développement, à la constitution des nageoires, fournissaient aussi, chacun, des éléments au bourgeon dormant, aux dépens duquel devaient se former les pattes destinées à les remplacer; peu à peu ces éléments, au lieu de se détacher des segments musculaires pour aller se confondre dans le bourgeon dormant, sont demeurés attachés aux segments musculaires embryonnaires, et se sont assemblés directement pour constituer la patte; la formation du bourgeon dormant a été ainsi économisée à son tour; rien n'indique plus la transformation que les nageoires ont dû subir pour devenir des pattes.

Une fois constituées comme elles l'ont été chez les Batraciens, les pattes gardent la même structure fondamentale chez tous les vertébrés marcheurs; elles ne diffèrent entre elles que par le rapprochement vers le corps des extrémités distales de l'humérus et du fémur ramenés à se mouvoir dans des plans verticaux, et par la réduction du radius, du péroné ainsi que du nombre des doigts.

Une fois les pattes acquises, les Batraciens devenus adultes ont tout ce qu'il leur faut pour vivre hors de l'eau; mais il n'en est pas de même des jeunes dont la fragilité oblige les parents à retourner à leur premier élément, dans l'eau, pour y pondre.

C'est d'ailleurs une règle générale, résultant de la loi embryogénique fondamentale, suivant laquelle les jeunes passent par les mêmes phases de développement que leurs ancêtres. Ceux-ci étant primitivement aquatiques devaient avoir une progéniture aquatique à ses débuts, mais s'orientant plus ou moins rapidement vers des habitats terrestres. On peut, en effet, considérer comme une loi que, *lorsqu'un animal a changé de milieu, il revient longtemps à son milieu primitif pour se reproduire.* C'est ainsi que les Crabes de terre reviennent à l'eau par bandes innombrables pour y pondre, tandis que les Phoques sortent de l'eau pour accoucher ; mais ce retour finit par cesser lui-même ; les Cétacés, par exemple, accouchent dans l'eau.

La nécessité d'un retour périodique à l'eau aurait fatalement retenu près du rivage les Batraciens qui sont de fort médiocres marcheurs, et se serait opposée au peuplement de la terre ; heureusement la tachygénèse a fait disparaître l'obstacle. Son action s'est exercée de diverses façons. Les Cœcilies, batraciens dépourvus de queue et de membres, qui vivent sous terre, en fouissant le sol comme le font les Vers de terre auxquels ils ressemblent beaucoup, pondent dans leurs galeries, sans revenir à l'eau ; les jeunes n'en ont pas moins dans l'œuf des branchies énormes, en raquette ou ramifiées, qui les enveloppent complètement, servent à leur respiration ainsi qu'à leur protection, et se résorbent avant la naissance. Les jeunes Salamandres terrestres ont presque achevé leur métamorphose quand elles naissent dans l'eau ; leurs sœurs, les Salamandres noires des montagnes de l'Europe méridionale ne vont plus à l'eau pour pondre ; elles sont vivipares et on peut, avec quelques précautions, amener à la viviparité la Salamandre terrestre elle-même. Les jeunes Pipas éclosent de même à une période avancée de leur développement dans les pustules creuses où sont logés les œufs sur le dos des mâles qui demeurent dans l'eau pendant la période d'incubation ; certains Anoures (*Leptodactylus ocellatus* et *mystacinus*, *Paludicola gracilis*, *Pseudo-*

phryne australis et *Bibroni*) pondent hors de l'eau, dans laquelle les jeunes sont ramenés par les grandes pluies, après l'éclosion; les *Chiromantis* et *Phyllomedusa* attachent leurs œufs sous les feuilles des arbres sur lesquels elles vivent, au bord des cours d'eau, en les enveloppant d'une substance glaireuse; les jeunes éclosent dans cette substance que les pluies délaient et entraînent dans le cours d'eau sous-jacent avec les jeunes batraciens qu'elle contient. Une rainette des Antilles, l'*Hylodes martinicensis*, va plus loin : elle attache aussi ses œufs sous les feuilles des arbres sur lesquelles elle se tient, mais les jeunes éclosent avec leur forme définitive. Il en est de même pour la *Rana opisthodon* et l'*Hyla nebulosa*. Ce ne sont encore là que des essais timides, pour ainsi dire, de passage de la vie aquatique ou amphibie à la vie aérienne. Ces essais favorisés par la grosseur des œufs, très riches en aliments de réserve, sont d'ailleurs relativement récents, puisque les Batraciens sans queue du type des Grenouilles ne remontent pas au delà de la période tertiaire et qu'il y avait déjà des Reptiles franchement terrestres dès la fin de la période primaire. Ici encore les Batraciens ont renouvelé, sans arriver à la réaliser complètement, la tentative qui leur a pleinement réussi dans les temps anciens, de devenir complètement aériens. Mais le succès de cette tentative ancienne a été assuré par un phénomène nouveau; des matériaux nutritifs se sont accumulés dans l'œuf et sont arrivés à lui donner une grosseur considérable. Dès lors, l'embryon trouvant dans l'œuf tout ce qui était nécessaire à son alimentation, n'ayant plus à dépenser une partie de son activité à la recherche de sa nourriture, toute cette activité a été employée à la multiplication des éléments anatomiques, et son développement s'est trouvé par cela même considérablement accéléré; les phases de développement correspondant à la vie aquatique ont été peu à peu abrégées, au point d'être enfin simplement ébauchées; la formation des membres demeurés inutilisés a été primée par celle des viscères et du système nerveux, et la figure de l'em-

bryon s'est trouvée ainsi passagèrement modifiée, d'autant plus qu'il a été, d'autre part, obligé de s'étaler momentanément au-dessus de la masse vitelline, démesurément agrandie, en une plaque formée de trois feuillets superposés, correspondant à l'*exoderme*, au *mésoderme* et à l'*entoderme*. En outre, les annexes de l'embryon destinées à disparaître avant la naissance ont été constituées par une partie des cellules nées de la segmentation du noyau et de la substance vivante de l'œuf, qui se sont réparties autour du globe vitellin et l'ont peu à peu enveloppé, constituant ce qu'on a appelé le *blastoderme*, formé de cellules qui gardent un aspect primitif et jouent un rôle simplement digestif. Cela tient probablement à ce que les premières cellules formées arrivent de bonne heure à être en nombre suffisant pour se différencier et constituer les parties essentielles de l'embryon. La substance nucléaire et le plasma vivant de l'œuf n'étant pas encore épuisés, les cellules ultérieurement formées demeurent, pour ainsi dire, extérieures à l'embryon et viennent seulement en aide à sa nutrition. L'œuf lui-même ne se constitue pas autrement; les éléments de l'ovaire les plus anciens ou les plus aptes à s'alimenter évoluent seuls et digèrent les autres.

L'embryon puise naturellement ses aliments immédiatement au-dessous de lui dans le vitellus; il s'assimile peu à peu sa substance et par conséquent s'y enfonce; le blastoderme se rabat dès lors graduellement et se referme au-dessus de lui, tandis qu'il se resserre au-dessous, lui formant ainsi une enveloppe dont l'origine est d'autant moins mystérieuse qu'elle se constitue, pour la même raison et de la même façon, autour des embryons d'insectes; c'est l'*amnios*. Cette poche se remplit de liquide; dès lors l'embryon est protégé contre toute dessiccation. Sa respiration s'accomplit par une voie détournée mais qui n'en est que plus intéressante. De bonne heure se forment dans son mésoderme des canalicules rénaux qui déversent le produit de leur sécrétion dans une poche collectrice

laquelle n'est pas autre chose que la vessie embryonnaire. Celle-ci ne peut s'ouvrir au dehors, elle garde donc les produits de sécrétion qu'elle reçoit, se distend, s'agrandit au point de venir doubler l'amnios, en même temps qu'un lacis très serré de vaisseaux se forme dans son épaisseur; c'est l'*allantoïde* (1). Comme cette membrane est extrêmement riche en vaisseaux, qu'elle n'est séparée de l'air extérieur que par la mince épaisseur de l'amnios, et qu'elle présente une grande surface, elle est admirablement apte à assurer la respiration de l'embryon, tout le temps que ses poumons ne sont pas en communication avec l'air extérieur. Nous avons là un nouvel exemple de ces *changements de fonction* qui résultent d'un concours fortuit de circonstances et sur qui, nous l'avons déjà dit, Dohrn a si justement attiré l'attention. Protégé contre la dessiccation, abondamment pourvu de nourriture, respirant suffisamment, l'embryon, dont toutes ces conditions favorables ont accéléré le développement, traverse rapidement les phases patrogoniques de son évolution qui auraient pour but la formation par hérédité d'organes tels que les branchies dont il n'a plus que faire, et qu'il faudrait ensuite résorber; il peut attendre, avant d'abandonner la coque de l'œuf, d'avoir acquis une vigueur suffisante pour rechercher sa nourriture et lutter victorieusement contre les mauvaises chances qu'il serait exposé à rencontrer dans son existence à l'air libre. La mère n'est plus obligée d'aller à l'eau pour obéir à l'hérédité d'animal aquatique qui pèse sur sa progéniture : l'indépendance vis-à-vis des milieux humides, la vie purement aérienne est définitivement acquise pour les Vertébrés. C'est celle que mèneront les Reptiles, les Oiseaux et les Mammifères, et qui en fera les maîtres du monde.

Tout d'abord, en raison de la faible puissance de son appareil respiratoire et des dispositions de son appareil circulatoire souvenirs du temps où il respirait à l'aide de branchies et qui ne

(1) De ἀλλᾶς, saucisse, ainsi nommée parce qu'à son début elle a la forme d'un tube fermé, rappelant celle d'une saucisse.

permettent pas au liquide sanguin, incomplètement saturé d'oxygène, de fournir aux organes tout ce qu'ils en pourraient consommer, le Vertébré n'est pas le siège de combustions suffisamment actives pour produire une quantité de chaleur capable de défier les variations de la température extérieure; il demeure sous leur dépendance. Sa température intérieure, qui règle son activité, varie comme la température extérieure; quand celle-ci tombe au-dessous ou s'élève au-dessus de certaines limites, les fonctions vitales s'atténuent et finissent par s'arrêter; l'activité de l'animal est intermittente; c'est le cas des Reptiles. Mais, chacun de leur côté, et par des procédés différents, l'Oiseau et le Mammifère sont arrivés à porter leurs poumons à un haut degré de perfection, à séparer complètement, dans leur cœur et dans leur appareil circulatoire, le sang chargé d'anhydride carbonique du sang complètement saturé d'oxygène, qui porte ainsi aux organes une dose maximum de ce gaz indispensable à la vie des éléments anatomiques et au fonctionnement des organes. Ce fonctionnement, s'il consomme de l'énergie, développe une quantité proportionnée de chaleur, l'énergie et la chaleur résultant l'une et l'autre de la combustion des aliments. En outre, la chaleur développée se trouve maintenue dans l'organisme, une fois qu'il s'est échauffé, par le matelas d'air qui se loge à demeure entre les plumes des Oiseaux, entre les poils des Mammifères. Certes, les plumes et les poils n'ont pas été imaginés dans ce but; ces productions tégumentaires se sont vraisemblablement formées à la suite de l'excitation exercée sur la peau par le contact permanent de l'air, excitation qui a amené, surtout au-dessus des papilles du derme richement vasculaires, la multiplication rapide de cellules épidermiques, vite desséchées et demeurant accumulées au-dessus de leur lieu de multiplication. Ainsi a pris naissance, sans objet déterminé, un ensemble de productions accidentellement aptes à protéger l'animal contre la déperdition de la chaleur. Cet appareil protecteur, qui a joué le même

rôle chez les Oiseaux et chez les Mammifères, s'est constitué cependant chez les uns et chez les autres dans des conditions tout à fait différentes. Les Oiseaux ne sont, en effet, comme nous le verrons plus tard, qu'une forme spécialisée des Reptiles, issus eux-mêmes des Batraciens, tandis que les Mammifères sont issus directement de ces derniers. Ils ont évolué parallèlement aux Reptiles, au lieu d'en être, comme les Oiseaux, un aboutissement. Les Batraciens ont une peau particulièrement riche en glandes de toutes sortes et en organes sensitifs : ces glandes ont totalement disparu chez les Reptiles, sauf en des points très limités du corps, comme le bord des cuisses chez les Lézards ; les organes sensitifs se sont également raréfiés. Les Oiseaux ont, comme eux, la peau sèche et les organes tactiles rassemblés en des points déterminés du corps; leurs plumes se développent, comme des piquants, au sommet des papilles dermiques qui s'invaginent ensuite dans la peau. Chez les Mammifères, au contraire, la peau demeure humectée ou assouplie par des glandes nombreuses, les *glandes sudoripares*, productrices de la sueur, les *glandes sébacées*, productrices d'une humeur qui lubrifie les poils et rend la peau onctueuse. Les poils eux-mêmes seraient des modifications d'une partie des organes sensitifs des Batraciens ; effectivement leur bulbe est entouré souvent d'une bague nerveuse qui en fait des organes tactiles d'une grande sensibilité. Au lieu de se former, comme les plumes, au sommet saillant des papilles, ils ont pour point de départ un bourgeon épidermique profond qui s'enfonce dans le derme et y découpe pour ainsi dire le bulbe pileux. Une partie des glandes de la peau s'est spécialisée, d'autre part, dans la secrétion du *lait* et a donné naissance aux *mamelles*, qui fournissent aux jeunes leur premier aliment. C'est la disparition des glandes de la peau qui a rendu l'allaitement impossible chez les Oiseaux, tandis qu'il est devenu caractéristique des Mammifères.

La nature de leur peau semblait donc devoir accentuer les différences qui séparent des Mammifères les Reptiles et les Oiseaux ;

bien au contraire, elle les a rapprochés en contribuant à faire des uns et des autres des animaux protégés contre la réfrigération, conservant à leur intérieur, malgré les variations de la température de l'air, une température constante, c'est-à-dire des *animaux à sang chaud*, doués d'une indépendance nouvelle relativement au milieu extérieur, et capables de lutter contre toutes ses modifications, ce qui les a conduits à la plus haute puissance organique que les êtres vivants aient jamais atteinte. Ils y sont arrivés cependant par deux voies différentes, non pas directement, mais par le concours de circonstances ne visant en aucune façon ce but.

L'organisme des vertébrés à sang chaud s'étant habitué à une température constante, cette température a dû être assurée artificiellement aux embryons qui, demeurant inactifs, ne pouvaient la produire par eux-mêmes. Ce résultat a été réalisé d'une façon passive chez les Mammifères, d'une façon active chez les Oiseaux qui, sous ce point de vue, semblent avoir pris, à un moment donné, une certaine avance. Les mammifères qui, dans la nature actuelle, sont le moins éloignés des formes ancestrales, les Monotrèmes, représentés par les deux genres Ornithorynque et Échidné, pondent dans une sorte de nid des œufs semblables à ceux des Oiseaux et qu'ils couvent comme eux. Déjà, chez les Marsupiaux qui les suivent, les œufs ne sont plus pondus; ils demeurent petits et sont conservés dans la matrice de la mère où ils évoluent sans avoir généralement contracté aucun lien avec ses parois. Les jeunes, à leur naissance, sont de très faible taille et leurs membres peu développés ; ils sont placés par la mère dans la poche ventrale que presque tous les marsupiaux présentent et qui contient les mamelles ; il y achèvent leur développement. Chez les autres Mammifères, l'œuf, détaché de l'ovaire de bonne heure, passe dans la matrice alors qu'il n'a pas dépassé des dimensions de la grandeur du dixième de millimètre. Il ne contient à ce moment qu'une très faible quantité de matériaux de réserve ; mais il n'est pas pour cela identique

aux petits œufs des Poissons ou même des Batraciens. Ce n'est pas un œuf originellement petit ; c'est un œuf redevenu petit, et à qui l'hérédité a conservé le mode de développement imposé aux gros œufs par l'énorme volume de leur vitellus. Ce mode de développement, dont la raison d'être apparaît nettement pour les gros œufs, n'en a plus aucune ici et demeurerait inintelligible et absurde si on ne savait que les premiers mammifères étaient ovipares et pondaient, comme les Reptiles et les Oiseaux, de gros œufs. Les petits œufs des mammifères actuels produisent un blastoderme, un amnios, un allantoïde, comme ceux des Oiseaux, et ces organes inexplicables, dans les conditions où ils se développent, sans la notion de l'hérédité, trouvent à être utilisés dans une voie nouvelle. A leurs dépens, avec le concours plus ou moins actif de la paroi de la matrice, se forme le *placenta*, grâce auquel le jeune mammifère peut puiser dans le sang de sa mère les matériaux nutritifs qu'il ne trouve pas dans l'œuf. Ces matériaux, lorsqu'il abandonnera brusquement la matrice, à la suite de l'accouchement, s'accumuleront encore dans le sang maternel, où ils seront en excès ; les glandes de la peau, intervenant alors, les élimineront. Celles de la face ventrale, excitées par le frottement incessant ou la succion des jeunes sur lesquels la mère se couche pour les réchauffer, prendront un plus grand volume ; elles constitueront les mamelles productrices du *lait*, qui sera pendant assez longtemps l'unique aliment des nouveau-nés. Elles ont commencé à se différencier problablement comme une conséquence du double fait de la ponte et de la couvaison, chez les Mammifères ovipares dont les jeunes ne faisaient que lécher les parois de la cavité ventrale où l'œuf était encore couvé ; elles se sont ensuite localisées dans la poche ventrale où les Marsupiaux enferment leurs jeunes ; elles se sont enfin multipliées chez les mammifères placentaires suivant deux lignes symétriques, et leur nombre comme leur position se sont peu à peu mis en rapport avec le nombre des jeunes de chaque portée et l'attitude

habituelle de la mère, conformément au principe de Lamarck relatif à l'influence de l'usage ou de son défaut sur le développement des organes, et sans que la sélection naturelle ait eu à intervenir. Les Chiens, les Chats, les Porcs, malgré les différences qui les séparent, ont de nombreuses mamelles en raison de leurs portées également nombreuses; les Équidés, les Ruminants, les Singes, qui ne produisent qu'un ou deux petits, ont deux ou quatre mamelles sans plus. Ces mamelles sont cachées entre les membres postérieurs chez les animaux coureurs, de manière que les jeunes, au cours de l'allaitement qui a lieu debout, sont cachés et protégés par le corps de la mère; elles sont situées sur la poitrine chez les animaux qui grimpent à l'aide de leurs bras, comme les Singes ou les Paresseux, s'accrochent, comme les Chauves-souris, ou soulèvent hors de l'eau la région antérieure de leur corps pour alimenter leurs jeunes, comme les Sirénides. La position et le nombre des mamelles se montrent donc tout à fait indépendants du régime et de l'organisation interne des mammifères; ils sont liés simplement à leur degré de fécondité et à leur attitude. L'hérédité peut cependant intervenir, ici comme ailleurs, et troubler en apparence les conclusions auxquelles conduirait l'application de ces principes; elle en devient, au contraire, la confirmation, si l'on découvre que le désaccord on constaté se trouve en rapport avec des conditions d'existence anciennes, actuellement abandonnées. Le mode de locomotion des fourmiliers, qui marchent en s'appuyant sur la tranche de leurs pieds ou le dos de leurs doigts, indique nettement que ces animaux, aujourd'hui fouisseurs, étaient primitivement grimpeurs et opposaient pour grimper les paumes de leurs mains l'une à l'autre; d'autre part la longueur de leurs ongles, l'organisation de leur appareil génital démontrent, malgré l'énorme différence de la forme de leurs têtes, qu'ils sont apparentés aux Paresseux qui vivent sur les arbres et ils en ont, en effet, conservé; leurs mamelles pectorales. Les Éléphants ont aussi des mamelles pectorales; leur passé

révélé dirait sans doute la raison de cette disposition caractéristique des animaux grimpeurs, que ne laisse pas suffisamment que l'on sait de leurs mœurs actuelles. mais que confirme le apparaître ce croisement de leur radius et de leur cubitus.

Ce que nous venons de dire de l'origine des Vertébrés terrestres peut se résumer ainsi :

Ces animaux descendent de batraciens chez qui les œufs ont pris, par une accumulation considérable de substances nutritives, un grand volume. Le volume de ces substances a imposé à l'œuf la formation d'un blastoderme au delà de la région très limitée de l'œuf où s'était localisée la formation de l'embryon. L'abondance des matériaux nutritifs a permis à l'accélération embryogénique intense, qui avait déjà supprimé les nageoires ancestrales des Batraciens, d'accomplir un nouveau pas, à la suite duquel l'appareil imparfait de respiration aquatique de leurs jeunes est devenu de plus en plus transitoire, jusqu'à s'ébaucher simplement et à disparaître totalement avant la naissance de l'embryon. Celui-ci s'est trouvé avoir ainsi réalisé dans l'œuf la série entière de ses métamorphoses, sous la protection d'un amnios et d'une allantoïde dont nous avons vu l'origine toute physiologique. L'œuf a pu dès lors être pondu à l'air libre, protégé d'ailleurs par une coque solide. Cette période évolutive, indépendante du sort réservé à la peau, est commune aux Reptiles, aux Oiseaux et aux Mammifères ancestraux, actuellement représentés par les seuls Monotrèmes.

Tandis qu'elle se maintient chez les Reptiles à peau sèche et chez les Oiseaux, leurs descendants, elle éprouve une régression chez les Mammifères vivipares dont l'œuf cesse d'accumuler des substances nutritives abondantes, revient à la segmentation totale que gênaient ces substances, mais l'hérédité conserve à l'embryon le mode de développement qu'il avait acquis en raison de leur abondance, bien que ce mode de développement soit devenu inutile ; alors les membranes d'enveloppe changent de rôle et elles contribuent, tout en continuant à constituer pour l'embryon un appareil protecteur, à former le placenta qui servira de

lien entre sa mère et lui. Des causes nouvelles interviennent dans la formation de ce placenta : l'irritation que produisent l'une sur l'autre deux membranes vivantes de nature différente constamment en contact ; l'échange entre ces membranes ou à travers leur épaisseur de substances diverses, car il est impossible que l'embryon tire de sa mère certaines substances sans lui en rendre d'autres. On pourrait voir là, le cas échéant, l'explication de cette influence prétendue du premier mâle sur les conceptions ultérieures de la mère qui a été désignée sous le nom de *télégonie*. Ce ne serait pas le premier mâle, mais son premier rejeton qui aurait influencé la mère. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que les œufs non mûrs, mis en présence de spermatozoïdes, les assimilent souvent et, à la rigueur, pourraient, par conséquent, s'additionner ainsi de substances capables d'influer sur leur évolution ultérieure.

La formation des mamelles étant la conséquence de la conservation des fonctions excrétrices de la peau, il y a bien des raisons pour que l'évolution des Mammifères et celle des Reptiles aient eu lieu parallèlement, qu'elles aient commencé ensemble et que les Mammifères, tout au moins les ovipares, soient très anciens. Il n'a pu en être de même pour les Oiseaux. Ceux-ci dérivent d'un type de Reptiles très spécialisé déjà ; aussi forment-ils une classe dont l'homogénéité contraste avec la variété de celle des mammifères. Abstraction faite du développement des plumes, phénomène d'ordre tout extérieur, l'ancêtre des Oiseaux a dû, avant tout, devenir un animal sauteur, à qui les plumes, développées d'une manière indépendante, peut-être même avant l'acquisition de l'aptitude au saut, ont permis ensuite le vol. Les seuls Reptiles qui nous aient été conservés, nous verrons pourquoi (p. 328), sont ceux dont l'allure était la plus humble ; mais durant la période secondaire, les Reptiles, dont quelques-uns avaient acquis des dimensions dont les Baleines même suffisent à peine à nous donner une idée, avaient déjà réalisé des allures analogues à celles des mam-

mifères actuels. Si beaucoup d'entre eux étaient demeurés affaissés entre leurs pattes, comme les Crocodiles et les Lézards, leur ventre traînant à terre, d'autres avaient ramené dans un plan vertical leurs bras et leurs cuisses, de manière à se hisser sur toute la hauteur de leurs jambes, à la façon de nos Chiens, et beaucoup d'autres se dressaient presque debout sur leurs pattes de derrière, à la façon des Kanguroos. C'est parmi ces derniers qu'il faut, semble-t-il, chercher l'ancêtre des Oiseaux. Cet ancêtre devait posséder déjà les caractères qui leur sont communs à tous : il se tenait uniquement debout, la plante du pied redressée sur ses doigts qui étaient d'abord au nombre de cinq; les trois métatarsiens médians, qui soutenaient la plante dressée du pied, étaient unis en une seule baguette; le péroné était rudimentaire et soudé à ses deux extrémités au tibia. Or il y a actuellement un mammifère dont les pattes postérieures ont justement la plupart de ces caractères, c'est la Gerboise, le mammifère sauteur par excellence; la soudure des métatarsiens se retrouve chez les Ruminants, qui sont les plus alertes coureurs parmi les mammifères, et dont la course n'est qu'une série de sauts. L'Oiseau est donc bien le descendant d'un reptile sauteur, probablement arboricole. La vérification *a posteriori* de cette conclusion nous est fournie par les oiseaux qui ont perdu la faculté de sauter, comme les Pingouins et les Manchots, essentiellement nageurs et marcheurs, ou les Perroquets qui, au lieu de sauter de branche en branche comme les Passereaux, se hissent, en se servant de leur bec en guise de crochet. Dans ces deux cas bien différents, qui n'ont de commun que l'abandon du saut, le métatarse se raccourcit, s'élargit, et les trois os qui se sont soudés pour le constituer tendent à s'isoler de nouveau.

Ce point étant acquis, on serait tenté de chercher l'Oiseau primitif parmi les oiseaux incapables de voler de la période actuelle : les Autruches d'Afrique, les Nandous de l'Amérique du Sud, les Casoars de l'Inde, les Émeus d'Australie, les Aptéryx

de la Nouvelle-Zélande. L'aire de répartition de ces animaux semble être un témoignage de leur ancienneté; mais bien des faits rendent cette hypothèse douteuse. Nous savons par les *Archæopteryx*, trouvés fossiles dans les calcaires jurassiques de Solenhofen, que l'ancêtre des oiseaux avait conservé la longue queue des reptiles; que ses mâchoires, quoique revêtues d'une lame cornée, n'étaient pas allongées en un véritable bec, et que cet allongement, lorsqu'il s'est produit, n'a pas fait disparaître tout d'abord les dents dont elles étaient pourvues, puisqu'on les retrouve, chez les oiseaux de la période crétacée, encore insérées dans des alvéoles séparés chez l'*Archæopteryx*, l'*Ichthyornis*, l'*Apatornis*; disposées dans une gouttière commune chez l'*Hesperornis*, l'*Enaliornis*, le *Baptornis*, ce qui semble présager leur disparition prochaine. Il est peu probable que l'*Archæopteryx* fût capable de pratiquer un vol soutenu. Ses membres antérieurs étaient encore, en effet, des pattes dont les quatre doigts, munis d'ongles, étaient nettement séparés; la fourchette était bien en forme d'U comme chez les Rapaces, mais cette forme n'est pas nécessairement liée au vol; ils n'avaient d'ailleurs qu'un faible bréchet et leur longue queue, incapable de servir de gouvernail, était plutôt un ornement encombrant. Cependant les plumes des membres antérieurs et celles de la queue avait déjà nettement le caractère de pennes; elles étaient donc préparées pour le vol.

Cette faculté était bien développée chez les *Ichthyornis* de la craie, dont la queue était déjà réduite à un croupion et dont le bréchet était très saillant ; mais les *Hesperornis*, quoique plus évolués, ne savaient déjà plus voler, cela suffit à rendre suspect le caractère d'ancienneté que l'on attache à la perte de cette faculté, et conduit à se demander si l'on a eu raison de grouper en un seul ordre, celui des Ratites, tous les grands oiseaux sans bréchet, incapables de voler. Il est probable que seules, dans cet ordre, les Autruches représentent un groupe primitif, en raison de leurs grandes ailes, à doigts presque nor-

maux, et de leurs pubis soudés; mais elles en sont une forme très modifiée, puisqu'elles n'ont plus que deux doigts aux pattes. Les Nandous, avec leurs grandes ailes et leurs ischions soudés, seraient le type d'un second groupe montant vers les oiseaux actuels. Les *Æpyornis*, les *Dinornis*, les Casoars, les *Apteryx* à bassin ouvert, à ailes petites, minuscules même, mais construites comme de véritables ailes, seraient des oiseaux dégénérés ayant perdu la faculté de voler, parce qu'il sont longtemps habité des régions où ils n'avaient aucun ennemi, comme le Dronte, qui n'est qu'un gros Pigeon, les Pingouins, les Manchots apparentés aux Plongeons. Vivant dans l'abondance et dans une sécurité complète, ils acquéraient une grande taille, et paresseusement ils renonçaient à l'effort du vol devenu momentanément inutile. Ce renoncement, résultat de l'absence de toute lutte pour la vie, leur a été fatal lorsque l'Homme, devant qui ils ne pouvaient plus fuir, a envahi leur domaine.

Les Ichthyosaures étaient vivipares; les Seps, les Orvets, les *Hydrophis*, les Vipères et d'autres reptiles le sont devenus : il n'y avait pas *a priori* de raison pour que certains oiseaux ne le devinssent pas; peut-être la grosseur de leurs œufs rendant difficile à ceux-ci un séjour prolongé dans l'oviducte, l'aptitude de leur organisme à produire du calcaire qui se traduit par la texture serrée de leur tissu osseux, par l'épaisseur de la coque protectrice de leurs œufs et par la précocité plus ou moins grande de sa formation ont-elles été un obstacle à la réalisation de la viviparité. Quoi qu'il en soit, les Oiseaux sont demeurés ovipares et toute leur activité s'est tournée vers la construction des nids dans lesquels ils pondent et couvent leurs œufs, abritent et réchauffent leurs petits. Il faut d'ailleurs que leur inaptitude à la viviparité soit bien grande, pour que les Coucous et les Molothres, sortes d'étourneaux américains, en aient été réduits, à la suite d'une discordance entre l'époque de leur ponte et celle de leurs voyages périodiques, à confier à d'autres

oiseaux l'incubation de leurs œufs et l'éducation de leurs petits.

Nous venons de passer en revue les conditions de formation des grands types : embranchements et classes du règne animal. Au début de tout, et dominant même l'évolution actuelle des individus, se trouve une propriété fondamentale des substances vivantes, celle de se concréter en petites masses se multipliant par division et capables de s'agréger entre elles ; l'arrangement de ces masses ou cellules est réglé tout d'abord par des conditions d'ordre purement mécanique ; l'immobilité ou le mouvement ont donné naissance à deux grands types de structure: le type ramifié et le type segmenté. Une grande division de ce dernier, celle des Vers annelés, au corps plastique, s'est prêtée ensuite à des remaniements dus à l'immobilité consécutive à la vie parasitaire ou rendus nécessaires par des changements d'attitude, causés eux-mêmes par des phénomènes d'ordre chimique, tels que la sécrétion du calcaire ou celle de corps gras, ou par un phénomène d'ordre physiologique, le grand développement, suivi de tachygénèse, du système nerveux. Ainsi ont pris naissance les embranchements des Vers plats, des Echinodermes, des Mollusques et des Vertébrés; les formes initiales de ces derniers, se dégradant par suite de leur fixation précoce, ont constitué le singulier embranchement des Tuniciers. Dans les diverses circonstances d'où sont issus tous ces animaux remaniés, l'organisme animal, loin de succomber à des conditions d'existence défavorables, se défend contre elles avec succès ; il devient l'artisan de son organisation nouvelle ; il s'est, pour ainsi-dire, recréé par des efforts continus qui n'ont pu être couronnés de succès que dans des conditions de sécurité absolue. La sélection naturelle, la concurrence vitale, telles que les entendait Darwin, n'ont rien à faire avec la création des grands types organiques. Les animaux ont bien lutté pour leur vie, mais c'est contre les conditions défavorables du milieu, et en

réagissant sur eux-mêmes, sans avoir à redouter de concurrents. Ils ont joué un rôle actif dans leurs transformations, et comment pourrait-on supposer que des êtres doués d'organes des sens pour recueillir des sensations, de centres nerveux pour les apprécier et les réfléchir vers la périphérie, afin de mettre en mouvement des muscles et des glandes, soient demeurés passifs en présence des excitations incessantes venues de l'extérieur?

C'est seulement plus tard, quand les grands embranchements sont déjà constitués, que la concurrence fait son apparition sur les rivages surpeuplés de la mer; elle a eu pour première conséquence, non pas la bataille, mais la fuite vers la mer libre, vers les abîmes, vers les eaux douces, vers la terre ferme. La poussée vers cette dernière a été particulièrement féconde en transformations. Tant que l'animal est demeuré aquatique, la multiplication locale des cellules épidermiques a pu se produire aussi bien vers l'extérieur que vers l'intérieur et donner lieu à des appendices superficiels saillants, utilisés pour la respiration. Dès que l'animal est devenu terrestre, cette multiplication n'a pu donner naissance qu'à des appendices tégumentaires internes : les sacs trachéens des arachnides, les trachées des myriapodes et des insectes; des poumons ont pris chez les vertébrés la place des branchies. Pour que ces modifications aient pu produire tout leur effet, il a fallu que les œufs se transformassent, que l'accélération embryogénique soit intervenue, que des organes résultant d'une adaptation réciproque de la mère et de l'embryon se soient manifestés; il est donc impossible d'enfermer l'histoire de l'évolution organique dans une de ces formules simples, chères à certains philosophes : la création verbale, l'ensemencement extra-planétaire, le déboîtement des germes, l'activité ou l'inertie des organes, la continuité du plasma germinatif, la sélection naturelle, les variations brusques, etc. En réalité tout ce qui est force, mouvement, substance dans le monde a pris, à son heure, sa part dans l'évolution de la vie; les formes des organismes sont la résultante de ces actions diverses qui ne cessaient

d'agir sur elles, et dont cette évolution ne fait que traduire la mobilité. Les organismes eux-mêmes sont susceptibles d'intervenir activement dans leurs propres modifications : que, par suite de la multiplication rapide ou de la spécialisation des éléments d'une certaine catégorie, des organes nouveaux apparaissent, ils pourront d'abord demeurer inutilisés ; mais des circonstances nouvelles permettront à l'animal d'en tirer parti. L'usage qu'il en fera orientera les modifications ultérieures de ces organes dans un sens déterminé; ils deviendront ainsi de plus en plus aptes à remplir le rôle qui leur aura été dévolu; ils s'adapteront de mieux en mieux à leur fonction et pourront réagir à leur tour, en les modifiant, sur les organes avec qui ils étaient en rapport. C'est l'histoire des plumes des oiseaux et des palmures des pattes des vertébrés marcheurs redevenus aquatiques. Les plumes n'ont été au début qu'un revêtement épidermique de longues papilles saillantes du tégument, et elles étaient probablement alors ramifiées en tous sens, comme semble l'indiquer le duvet des jeunes oiseaux. Les papilles tégumentaires s'imbriquaient les unes sur les autres, comme le font encore les fausses écailles des serpents; elles devaient en conséquence tendre à s'aplatir, en même temps que leur recouvrement réciproque devait gêner sur leurs faces ventrale et dorsale la multiplication des cellules épidermiques : cette multiplication s'est donc localisée sur le bord des papilles, d'où la disposition quasi-symétrique des rameaux qui s'est conservée, par hérédité, après que la papille initiale s'est retirée sous la peau. Ainsi s'est constitué l'appendice tégumentaire en forme de disque, formé de barbes soutenues par un axe solide que nous nommons une *plume*. Les plumes bordant les membres antérieurs, chez des reptiles qui se tenaient debout sur leurs membres postérieurs conformés pour le saut, n'avaient plus qu'à s'allonger pour être capables de soutenir dans l'air le reptile devenu oiseau. Mais une fois la faculté du vol acquise, le membre antérieur a été modifié à son tour, non plus acciden-

tellement, mais par l'usage même qu'en a fait l'Oiseau fraîchement réalisé; pour donner plus de solidité à l'aile durant le vol, il a étroitement maintenu serrés l'un contre l'autre ses deux doigts les plus grands, si bien que ces doigts, encore indépendants chez l'*Archæopteryx* et à peu de chose près chez l'Autruche, se sont soudés, donnant ainsi au membre antérieur le caractère définitif de l'*aile*. De même, pour assurer le jeu des muscles élévateurs des ailes qui s'insèrent sur elles, les vertèbres dorsales se sont soudées, tandis que le volume croissant des muscles qui les abaissent a déterminé la formation entre eux de la crête saillante, soudée au sternum, qu'on nomme le bréchet. Un accident épidermique, pour ainsi dire, grâce à l'activité même de l'animal, a retenti sur tout le reste de l'organisme et fixé le sens de son évolution.

La palmure qui s'est développée entre les doigts des pattes des vertébrés marcheurs redevenus aquatiques a eu des conséquences analogues sur l'organisation de leurs membres; mais son origine n'est pas accidentelle comme celle de la plume. Cette palmure n'existe, même à titre d'indication, chez aucune forme vraiment terrestre; au contraire, on l'observe chez tous les quadrupèdes, quel que soit le groupe auquel ils appartiennent, qui fréquentent les marécages ou les eaux. Elle est presque générale chez les batraciens tétrapodes; on la retrouve chez les crocodiliens et chez les tortues de marais ou de rivière; elle caractérise les oiseaux d'eau au point qu'on les nomme palmipèdes; elle apparaît chez les mammifères, et d'une façon tout à fait indépendante chez les Ornithorynques qui sont des monotrèmes, les Desmans qui sont des mammifères placentaires insectivores, les Myopotames, les Hydromys, les Castors qui sont des rongeurs, les Visons, les Loutres, les Phoques qui sont des carnassiers. Le fait qu'une semblable conformation se montre chez des animaux si différents, entre lesquels il n'y a qu'une condition commune d'existence : la fréquentation des eaux, et qu'elle manque chez tous ceux qui s'abstiennent de

cette fréquentation, indique clairement l'identité de genre de vie comme la cause première de la palmure, et l'on comprend, en effet, que le contact d'un sol humide ramollisse la peau des doigts, que la résistance, même faible, du sol sur lequel ils appuient la fasse s'étendre latéralement jusqu'à constituer une palmure. La palmure n'est donc pas ici produite accidentellement, au hasard ; elle est liée à un genre de vie que l'animal ne fait qu'accentuer quand il devient nageur. Mais alors les mouvements nécessités par la natation ont partout les mêmes conséquences : pour mieux utiliser sa force, l'animal immobilise les os de ses membres; la traction que les muscles rattachés au corps exercent sur eux, pour ramer, les raccourcit, tandis que la résistance de l'eau les aplatit et que la palmure, englobant tous les os plats, immobilisés les uns par rapport aux autres et, par conséquent, rapprochés de manière à se fournir un appui réciproque, transforme la patte entière en une palette natatoire. Cette transformation se produit dans les groupes les plus divers, comme la palmure elle-même : d'abord chez les Sauroptérygiens (1), les Ichthyoptérygiens (2) et certains Mosasauriens, grands reptiles de la période secondaire, puis chez les Tortues marines, plus tard encore, après avoir été ébauchée sur les pattes postérieures des Phoques, chez les *Halitherium*, les *Zeuglodon*, les Sirénides (Dugongs, Lamantins) et les Cétacés. C'est si bien aux conditions mécaniques de la natation qu'il faut attribuer la forme prise alors par la patte, que, parmi les oiseaux, l'aile des Manchots, devenue elle aussi un organe de natation, tout en conservant les caractères essentiels du squelette d'une aile d'oiseau, se modifie dans le même sens et se transforme de la même façon en palette natatoire ; le même membre a été ainsi successivement une patte, une aile, une nageoire.

Une série parallèle de faits liés entre eux de la même façon

(1) Plésiosaures et genres voisins. — (2) Ichthyosaures et genres voisins.

conduit au vol les quadrupèdes grimpeurs. Lorsque ceux-ci se pressent, pour grimper, contre le tronc ou les branches d'un arbre, la peau de leurs flancs s'aplatit latéralement et reflue sur la base de leurs membres ; il en résulte la formation d'une sorte de parachute membraneux que l'on observe indifféremment chez des marsupiaux comme les *Petaurus*, des rongeurs comme les *Pteromys* et les *Anomalurus*, des insectivores comme les Galéopithèques, des lémuriens comme les Microcèbes, et qui aboutit à l'aile des Chauves-souris. On retrouve une disposition frappante de même nature chez quelques lézards éminemment grimpeurs de la famille des Geckos qui se tiennent strictement appliqués contre le tronc des arbres. Chez les *Uroplatus* de Madagascar (1), la peau reflue ainsi tout le long de la tête, du tronc, des membres et de la queue qui s'aplatit en truelle. Une bordure analogue s'étale largement chez les *Ptychozoon* des îles de la Malaisie (2) et s'étend en palmure entre les doigts des pattes. On est ainsi conduit au cas si remarquable du Dragon volant des îles de la Sonde, dont la peau des flancs forme un parachute soutenu par des rayons osseux, rattachés aux côtes. Il est probable que des faits analogues ont donné naissance à l'aile des Ptérodactyles et des autres Ptérosauriens de la période secondaire. Cette aile rappelle par son mode de formation celle des Chauves-souris, mais au lieu d'être, comme celle-ci, soutenue par les quatre doigts extérieurs, le pouce demeurant libre, elle n'est soutenue que le long de son bord antérieur par l'unique doigt extérieur démesurément allongé.

S'il est vrai que, dans certains cas, on peut expliquer l'adaptation étroite des organes des animaux aux fonctions qu'ils remplissent, en supposant que ces organes se sont formés en dehors de toute destination, et que les animaux à qui ils permettaient de mener un genre de vie interdit à ceux qui n'en étaient pas pourvus, en ont profité pour mener une existence

(1) **LXI**, 259. — (2) **LXII**, 512.

à laquelle ils se trouvaient en quelque sorte *préadaptés*, les faits que nous venons de rappeler montrent nettement que cette hypothèse de la *préadaptation* ne saurait constituer qu'une vue incomplète. D'autre part, le mot préadaptation lui-même fait naître l'idée que les animaux ont été construits d'avance en vue d'une façon de vivre déterminée et risque de réveiller la vieille doctrine du finalisme.

Par cela seul qu'il est vivant, un organisme ne saurait être d'ailleurs considéré comme passif. S'il subit l'influence de la lumière, de la chaleur, de l'humidité, de la sécheresse, du retour régulier du jour et de la nuit, de la périodicité des saisons, de tout ce qu'on nomme en un mot le milieu extérieur, cette influence réagit profondément aussi sur son milieu intérieur qui devient ainsi un puissant agent de modification. Tout élément vivant, par le fait même qu'il se nourrit, tout élément musculaire qui se contracte, toute cellule glandulaire qui sécrète, tout neurone qui subit ou élabore une excitation déversent dans le milieu intérieur quelque substance capable d'agir sur les éléments, parfois éloignés, avec lesquels elle arrive en contact.

L'action si énergique à petite dose de ce qu'on a appelé les *secrétions internes* n'est qu'un cas particulier de ce phénomène général. L'activité d'un organe ne modifie pas seulement cet organe; elle peut réagir sur l'organisme tout entier, comme c'est le cas bien connu pour la maturation des œufs, par exemple; elle peut déterminer des modifications sur d'autres organes, devenir une cause de variations inattendues dans les caractères, et là est peut-être le secret d'une partie tout au moins de ces *variations brusques* signalées dès 1865 par Charles Nandin qui avait étayé sur elles une doctrine dont on a fait depuis honneur à de Vries. C'est la collaboration de tous les éléments anatomiques à la formation du milieu intérieur par leurs excrétions qui établit entre eux, avec le concours du système nerveux mais aussi en dehors de lui, la solidarité d'où résulte la formation des individualités supérieures. Toute modification dans le chi

misme de certains de ces éléments peut retentir sur les autres et, comme l'a montré M. Armand Gautier, modifier même les formes des êtres vivants; de telle façon que la morphologie pourrait bien être un jour essentiellement liée à la chimie encore mystérieuse, à bien des égards, des composés albuminoïdes, des diastases et des nombreuses substances que, faute de les bien connaître, on désigne aujourd'hui sous les noms vagues de *toxines*, d'*hormones*, etc.

D'autre part, toutes les fois que deux organismes entrent en relations permanentes, ils se modifient peu à peu l'un et l'autre par suite de ces relations mêmes; c'est ce que j'ai appelé en 1881 l'*adaptation réciproque des organismes* (1). Un parasite est modifié par son séjour à l'intérieur de son hôte : mais il modifie également l'hôte dans lequel il vit; Allmann avait déjà signalé en 1871 (2), que les larves Pycnogonides qui se logent en parasites dans les Polypes hydraires donnent à leurs mérides nouriciers l'aspect des mérides reproducteurs et j'avais écrit moi-même à ce sujet : « L'organe reproducteur en voie de formation attirant à lui les fluides nutritifs n'agit-il pas dans le même sens qu'un parasite qui détourne à son profit une part de l'activité digestive du polype? » (3). La présence du parasite exclut, en effet, souvent l'évolution des organes génitaux, déterminant ainsi ce que Giard a appelé la *castration parasitaire*. Mais il n'y a pas ici simple castration; l'aspect de l'hôte peut être modifié au point de paraître constituer une espèce particulière, comme cela se produit chez les Andrènes stylopisées de Jean Pérez; ce sont là des cas particuliers d'un phénomène général qui, lorsqu'on le considère dans toute son ampleur, finit par englober les conséquences de la lutte pour la vie et la sélection naturelle. L'agencement actuel des faunes et des flores suppose, en effet, une adaptation réciproque des organismes telle qu'ils puissent, sans trop de dommage, vivre côte à côte.

(1) **XXVII**, 710. — (2) **LXXIII**, 40. — (3) **XXVII**, 234.

Nous aurons à appliquer ce principe au cours de nos études de la vie durant les diverses périodes géologiques.

Une fois les types organiques divers constitués dans la sécurité et dans la paix, la mer et la terre vont rapidement se peupler. La lutte pour la vie va devenir de plus en plus âpre et, si elle ne crée rien, elle va tout au moins déterminer ce qui peut vivre et ce qui doit mourir, assurer la conservation et le développement des formes les plus viables et semer dans le monde vivant les vides qui séparent les espèces. C'est ce que nous allons constater en étudiant les grandes périodes géologiques.

TROISIÈME PARTIE

VERS LA FORME HUMAINE

CHAPITRE PREMIER

LA VIE DURANT LA PÉRIODE PRIMAIRE

Les débris des plantes et des animaux des temps anciens, qui nous ont été conservés dans un sol que la mer a tour à tour déposé, abandonné, repris, rongé de ses vagues, livré aux érosions des eaux douces ou recouvert de sédiments nouveaux, ne forment que des séries trop incomplètes pour qu'il soit possible de reconstituer, avec ces seules ressources, la physionomie du monde aux époques anciennes. Quelques-uns de ces débris — et il paraîtra étrange qu'il y en ait si peu — sont demeurés énigmatiques dans une certaine mesure, ou plutôt ont laissé les paléontologistes incertains sur leur véritable nature; mais la rareté même de ces hésitations démontre que les cadres dressés en conséquence de l'étude de la nature actuelle n'ont jamais été brisés, que de tout temps les mêmes lois ont présidé à l'évolution de la vie et que les considérations au moyen desquelles nous avons relié les unes aux autres les formes vivant de nos jours, conservent toute leur valeur pour le passé. Elles impliquent un ordre d'apparition des types organiques, déterminant, pour chaque série, des formes initiales qui ont dû se montrer les premières ; elles précisent la place de celles qui

ont disparu, et arrivent même à classer, comme des termes nécessaires de l'évolution, certaines formes embarrassantes quand on n'a pas ces considérations présentes à l'esprit. Il est intéressant, par conséquent, de comparer ce que nous indique la théorie et ce que nous donnent les documents recueillis jusqu'à présent par les paléontologistes.

En ce qui concerne les végétaux, l'accord est des plus remarquables, à partir des terrains siluriens. Les terrains qui les précèdent, ont vraisemblablement contenu, eux aussi, des organismes. La théorie indique que les algues auraient dû être les premiers êtres vivants sur la terre ; l'expérience, si elle venait à réaliser jamais la création artificielle de la vie, donnerait sans doute la solution du problème; mais sur la nature des organismes initiaux la paléontologie demeure imprécise. Les plus anciens des terrains sédimentaires ont, en effet, éprouvé une transformation profonde; certaines de leurs couches peuvent dépasser dix mille mètres d'épaisseur, mais ces couches ont été fortement plissées et érodées. Ce qui en reste représente la partie dirigée vers l'intérieur de la terre de ces plis colossaux dont la température s'est élevée si haut, par suite des pressions latérales subies lors du plissement et de la résistance opposée par les formations plus anciennes à la pénétration de l'arête des plis, que tous les matériaux déposés par les eaux ont été ramollis ou fondus et se sont groupés en minéraux cristallisés : le quartz, les feldspaths, les pyroxènes, les micas, les amphiboles, dont l'association a formé d'abord des micaschistes; puis des gneiss, des leptynites dont la stratification primitive est encore évidente; enfin des granits, des amphibolites, des porphyres, sans stratification, dans lesquels se trouvent, comme minéraux isolés, des grenats, des tourmalines, des émeraudes et autres pierres dures. On ne peut espérer découvrir dans ces dépôts si complètement *métamorphisés*, comme disent les géologues, les restes des délicates algues primitives. Cependant les plus anciens d'entre eux, constituant les *terrains archéens*, con-

tiennent en Finlande des matières charbonneuses, et des lentilles d'un calcaire spécial, le *cipolin*. On croit être assuré que les calcaires et les matières organiques contenus dans les terrains sédimentaires sont tous d'origine organique. Il y aurait donc eu des êtres vivants dès cette ère lointaine qu'on a nommée longtemps *ère azoïque,* parce qu'on croyait qu'elle correspondait à une ère de première consolidation de l'écorce terrestre durant laquelle la vie n'existait pas encore. Un naturaliste scandinave, J.-J. Sederholm, y a même découvert des débris d'organismes, mais ils sont tellement ambigus que les uns en ont fait des végétaux, les autres des échinodermes.

La présence des êtres vivants sur la terre pendant la période archéenne est d'ailleurs rendue très vraisemblable par la découverte de fossiles déjà très variés dans les terrains qui suivent, les *terrains algonkiens*, essentiellement formés de micaschistes, et que l'on a longtemps crus également azoïques. On n'y a pas découvert de végétaux, non plus que dans les *terrains cambriens* qui ouvrent la série des terrains de l'ère primaire et atteignent parfois 3 000 mètres d'épaisseur. Cependant nous rappellerons qu' à Shunga, dans le gouvernement d'Olonetz, et à Snojärvi en Finlande (1), entre des couches de schistes algonkiens sont intercalés des lits d'un charbon dense et présentant parfois un éclat métallique, plus riche en carbone que l'anthracite, atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur auquel Inostranzeff a donné le nom de *shungite* et qui pourrait provenir de végétaux fossiles, plus modifiés que ceux qui ont formé la houille.

Durant la *période silurienne* apparaissent enfin des algues de la famille des Siphonées, d'autres qui rappellent les grandes Laminaires actuelles, associées à des débris qui semblent se répartir déjà entre les trois classes des cryptogames vasculaires : les Prêles (*Annularia*), les Fougères (*Sphenophyllum*), les Lycopodes (Sigillariées). La présence des Siphonées est particulièrement intéressante. Ces algues, qui vivent encore, peuvent

acquérir une grande taille, demeurer sphéroïdales (Codiées, exemple *Grivanella*), ou se ramifier comme les plantes supérieures, leurs ramifications rappelant des feuilles et formant même des verticilles (Dasycladées, *Palæoporella*, *Rhabdoporella*, *Vermiporella*). Malgré cela, elles ne présentent pas la structure cellulaire, si générale chez les organismes qui cessent d'être microscopiques. Leur corps limité par une paroi de cellulose, soutenu par une trame irrégulière de cordons de cette substance, n'est constitué que par une masse protoplasmique amorphe, dans laquelle sont disséminés de nombreux noyaux; de sorte que l'on peut se demander si la structure cellulaire de la presque totalité des végétaux et des animaux actuels n'est pas un résultat secondaire, consécutif à une égale répartition d'une masse protoplasmique, primitivement continue, entre les noyaux qui contiennent les substances régulatrices de la nutrition, telles que la chromatine. Chez les algues cellulaires on passe de même, par des transitions ménagées, des algues réduites à une minuscule sphère (*Protococcus*) ou à une cellule unique (Desmidiées, Diatomées), à des algues filamenteuses (Conferves), étalées en lames indivises (*Ulva*), dentées ou découpées (*Fucus*), et à d'autres où l'on pourrait distinguer déjà une partie fixatrice simulant une racine, une partie libre plus ou moins cylindrique, analogue à une tige portant des feuilles (*Cystosira*, *Macrocystis*, etc.). Les feuilles se caractérisent d'ailleurs graduellement aussi chez les plantes terrestres cellulaires formant la classe des Muscinées où, à partir des Hépatiques telles que les *Riccia* ou les *Marchantia*, on peut suivre leurs différenciations graduelles jusqu'aux Mousses ; de sorte que les feuilles, qui chez les végétaux supérieurs prennent une telle individualité qu'on peut dire que ces végétaux ne sont qu'un assemblage de feuilles nées les unes sur les autres et dont les parties concrescentes ont formé les rameaux et la tige (p. 114), n'auraient pris que secondairement, à la façon des cellules, cette individualité. De même que la structure intime

des végétaux résulte de la multiplication d'une cellule initiale unique, l'œuf, de même leur forme générale est actuellement réalisée par la multiplication successive de feuilles réduites, au début, à deux ou même à une seule.

Bernard Renaud a signalé la présence dans la houille de Microcoques monocellulaires qui attaquaient déjà la cellulose, comme de nos jours le *Bacillus amylobacter*. Trop fragiles cependant, les algues, les hépatiques et les mousses n ont été qu'exceptionnellement conservées à l'état fossile, de sorte que les formes par lesquelles les Cryptogames vasculaires (Prêles, Lycopodes, Fougères), les premières plantes à racines, se sont dégagées des Algues ou des Mousses, nous sont encore cachées. Mais à partir de là tout est clair, tout se passe conformément aux conditions indiquées par la loi de la tachygénèse. M. Grand'Eury a constaté la formation de véritables ovules évoluant en graines chez des plantes, gymnospermes par ce caractère, encore fougères par leurs feuilles, les PTÉRIDOSPERMÉES. Les GYMNOSPERMES (Cordaïtées, Conifères, Gnétacées, Cycadées) associées aux Cryptogames vasculaires demeurent les seules formes végétales terrestres pendant toute l'ère primaire et la période triasique. De la période jurassique on ne connaît encore que des Angiospermes douteuses, et c'est seulement au cours de la période crétacée que l'on voit prospérer sûrement ces plantes. En même temps que parmi les Gymnospermes, les Conifères se multiplient, les Dicotylédones abondent, mais elles sont représentées surtout par des plantes à petites fleurs, souvent unisexuées et groupées en chatons rappelant les cônes des conifères; ce sont les peupliers, les saules, les bouleaux, les *Myrica*, à fleurs mâles souvent réduites à une ou deux étamines, les hêtres, les chênes, les noyers, les figuiers, les artocarpes, les *Credneria*, les platanes, les liquidambars, les érables, auxquels se joignent quelques plantes à fleurs : le lierre, le cornouiller, les lauriers, les sassafras, etc. A ces dicotylédones à fleurs petites s'ajoutent déjà quelques plantes

à fleurs gamopétales comme les viornes et les lauriers-roses.

Après les Dicotylédones à petites fleurs unisexuées, les plus anciennes doivent être celles dont les parties de la fleur, encore très nombreuses, ont gardé la disposition hélicoïdale des conifères et où l'on voit souvent les sépales se transformer graduellement en pétales, et les pétales en étamines; ce sont les magnoliacées, les nymphéacées, les cactées, les renonculacées, les rosacées, les papavéracées, les berbéridées, etc. On peut s'étonner que ces plantes n'abondent pas davantage parmi les végétaux fossiles secondaires; mais nous trouverons dans le règne animal bien d'autres lacunes qui tiennent d'une manière évidente à l'insuffisance des documents actuellement connus. A partir de la période tertiaire tous les types des plantes actuelles se rencontrent; ils sont seulement distribués autrement, et nous avons vu de quelle importance est l'étude de leur distribution géographique, pour la connaissance des climats sur les divers points de la Terre. Nous n'y reviendrons pas.

Nous avons donné précédemment (p. 126) les raisons qui nous font considérer les Monocotylédones comme dérivées de Dicotylédones vivant dans des terrains marécageux, et qui doivent à leur habitat ordinaire, dans des terrains de cette nature, leurs feuilles épaisses à nervures parallèles, leurs longues tiges souterraines ou leurs bulbes et la structure particulière de leur tige aérienne qui rappelle celle des cryptogames vasculaires, souvent développées elle aussi sur des tiges souterraines ou rhizomes. Il a été du reste établi, par Ph. Van Tieghem, au moins pour les Graminées, dont l'apparition a été tardive, que ce sont des Dicotylédones dont l'un des cotylédons a avorté. Elles devraient apparaître après les Dicotylédones; mais il est impossible d'établir la date précise de l'apparition des unes et des autres; en tout cas, elles ne sont nettement caractérisées qu'au moment où les Dicotylédones sont déjà nombreuses dans les dépôts de la période crétacée, et comme les Dicotylédones remontent probablement au jurassique, l'apparition des Mono-

cotylédones dans le cours de la période crétacé n'a rien qui doive étonner. La théorie et les faits sont donc parfaitement d'accord, et de plus, les lois de la tachygénèse s'appliquant aussi bien au règne animal qu'au règne végétal, nous pouvons avoir confiance dans les inductions que nous allons en tirer relativement au premier de ces deux règnes.

La théorie indique pour l'évolution des animaux un ordre aussi logique que pour celle des végétaux, mais leur variété est beaucoup plus grande. Les animaux unicellulaires, qui forment le premier degré de l'organisation animale et qu'on désigne sous le nom de Protozoaires, doivent apparaître les premiers. Il semblerait que rien ne dût avoir été conservé de ces animaux délicats : Rhizopodes à plasma diffluent, se déformant sans cesse, soit en émettant des ramifications délicates souvent susceptibles d'anastomoser en réseau leurs plus fines divisions, soit en se contractant par places de manière à découper à leur surface des lobes plus ou moins profonds comme le font les Amibes ; Infusoires de forme déterminée, se déplaçant à l'aide d'une, deux ou plusieurs longues et fines rames, les *flagelles*, ou grâce au battement de *cils vibratiles* disposés soit en toison uniforme, soit le long de bandes régulières ; Sporozoaires vivant en parasites dans le corps d'autres animaux. De tous ces êtres d'ordinaire microscopiques, ce sont les plus délicats, les Rhizopodes, qui seuls ont laissé des traces. Il en est parmi eux, les *Foraminifères,* qui sécrètent une sorte de carapace calcaire souvent fort élégante ; d'autres, les *Radiolaires*, sécrètent de la silice qui se dispose dans leur substance en corpuscules élégants, disjoints, de formes variées et constantes pour chaque espèce, ou unis en une sorte de squelette ayant souvent l'aspect d'une sphère de dentelle plus ou moins hérissée de piquants. M. Cayeux a découvert dans des phtanites des terrains algonkiens de Lamballe (Côtes-du-Nord) des spicules de Radiolaires. Comme il y a aussi dans ces couches des lits de calcaire, on peut supposer que des squelettes de Foramini-

fères y ont été incorporés; mais les premiers Foraminifères dûment déterminés remontent seulement à la période cambrienne et, chose digne d'être notée comme une preuve de la stabilité des formes les plus simples, ce sont des Orbulines et des Globigérines dont les analogues flottent encore aujourd'hui, en quantité innombrable, à la surface des mers, et forment, en tombant dans les abîmes, une boue à Globigérines semblable à celle d'où est issue la craie blanche.

Les animaux ramifiés se divisent, nous l'avons vu, en trois séries distinctes qui ont évolué parallèlement, et ont pour point de départ des formes initiales que l'on peut schématiser en disant que ce sont des urnes ovoïdes fixées par leur fond, différant entre elles par la constitution de leurs parois (1), et pour lesquelles nous avons proposé les qualifications respectives de spongomérides, hydromérides et bryomérides.

L'embryogénie seule pourrait nous apprendre comment un spongoméride s'est transformé en éponge; malheureusement, de toutes les éponges, les Hexactinellidées, celles qui remontent le plus haut dans l'antiquité, et dont le développement serait sans doute particulièrement instructif, ne sont pas suffisamment connues à ce point de vue. Ce sont les plus belles des éponges; elles ont traversé toutes les périodes géologiques, et abondent encore dans les grandes profondeurs de l'Atlantique et dans les régions moins profondes de la mer des Philippines et de celle du Japon, où elles atteignent une assez grande taille. L'orientation exactement rectangulaire des six branches des grands spicules qui forment leur squelette essentiel donne à ce squelette l'apparence d'une élégante dentelle d'opale. Elles ont, en général, la forme d'une urne dont l'orifice supérieur serait protégé par une sorte d'opercule formé d'un tissu siliceux, à mailles délicates. Dans le fugace tissu vivant qui enveloppe le squelette sont régulièrement disposés des sacs délicats, en

(1) Voir page 134.

forme de dés à coudre, dont les parois sont tapissées de grandes cellules portant chacune un fouet vibratile surgissant du fond d'un entonnoir ; ce sont là les éléments actifs, les *choanocytes*, que l'on retrouve chez toutes les éponges et qui reproduisent si exactement la forme des Infusoires remarquables de l'ordre des Choanoflagellifères, que James Clarke a voulu faire des éponges de simples associations ou colonies de ces infusoires (1). Il n'est pas impossible que les premières éponges se soient lentement constituées par une association de ce genre dans laquelle diverses sortes d'éléments se seraient ensuite différenciés. Les Choanoflagellifères forment, en effet, fréquemment des colonies ramifiées (2) ou compactes, et l'une de ces dernières a même reçu le nom de *Protospongia.*

Les sacs ovoïdes des HEXACTINELLIDÆ se retrouvent chez les HEXACERATINÆ dont les spicules également à six branches sont faits de la même substance élastique et flexible que les fibres des éponges de toilette, la *spongine.* Ces sacs sont l'origine des *corbeilles vibratiles* des autres éponges ; ils sont toujours en rapport avec un système de canaux qui amènent jusqu'à eux l'eau attirée par leurs flagelles et passe ensuite dans des cavités efférentes, s'ouvrant au dehors par de grands orifices, les *oscules.* Aux Hexactinellidés s'ajouteront plus tard des éponges à spicules calcaires de la famille des *Pharetrones* (3), puis des éponges pierreuses dont les spicules sont unis par un enduit siliceux, les LITHISTIDÆ (4), enfin des éponges à spicules fondamentaux à quatre branches (TETRACTINELLIDÆ) ou en forme d'épingle (MONACTINELLIDÆ). C'est de ces dernières que dérivent les éponges fibreuses, sans spicules, employées dans les usages domestiques. Mais l'organisation des éponges est demeurée, depuis l'origine, fondamentalement la même ; elle n'a été modifiée que dans les détails de sa canalisation.

Nous nous trouvons maintenant en présence d'organismes

(1) LXIV. — (2) *Salpingœca, Codosiga, Codonocladium,* etc. — (3) Dès le Trias. — (4) Au Jurassique.

problématiques, les *Oldhamia*, qui n'ont pas dépassé le cambrien ; les *Graptolites*, innombrables dans le silurien, mais qui s'éteignent dans le dévonien avec les formes ramifiées dites *Dictyonema* ; les *Pleurodictyum*, limités au dévonien, et beaucoup d'autres, qui ont été attribués, un peu au hasard, aux hydroméduses, aux coralliaires ou aux bryozoaires.

Les *Oldhamia* sont de fines empreintes ramifiées qui rayonnent autour d'une plage centrale (*O. radiata*) ou divergent à partir des sommets d'une ligne brisée (*O. antiqua*). On a vu en elles des algues, des hydraires ; on a même pensé qu'il s'agissait simplement de traces laissées sur le sol par des Vers ; les *Oldhamia radiata* proviendraient de vers tubicoles, vivant dans la vase, et qui auraient successivement posé la partie antérieure de leur corps tout autour de leur trou. Les *Oldhamia antiqua* marqueraient la route de Vers qui, en rampant sur la vase, auraient plusieurs fois changé de direction et à chaque changement auraient hésité, inclinant sous divers angles la partie antérieure de leur corps avant de choisir leur route nouvelle ; les changements de route se produiraient, dans cette hypothèse, à des intervalles trop réguliers pour qu'ils ne soient pas étonnants. On connaît d'autre part, dans le cambrien, des pistes d'annélides prises d'abord pour des algues, que l'on avait nommées *Eophyton*, qui sont larges et tout à fait rectilignes. Aucun caractère, en dehors de leur forme ramifiée, ne permet de faire des *Oldhamia*, des hydraires, et il est difficile, comme on l'a proposé aussi, de voir en eux de simples rides de la surface de la vase cambrienne. Il n'y a pas, en somme, d'hypothèse tout à fait plausible, à laquelle on puisse se rallier.

Les Graptolithes ont duré plus longtemps ; ils ont vécu durant deux périodes géologiques en si grand nombre que certaines ardoises en ont toute leur surface ornementée. Ils étaient constitués par des logettes à ouverture étroite, disposées sur un seul plan et serrées les unes contre les autres le long d'une tige creuse. Les logettes pouvaient n'exister que sur l'un des

côtés de la tige (*Monograptus*), ou sur les deux côtés (*Diplograptus*, *Phyllograptus*, *Climacograptus*); la tige pouvait être rectiligne comme dans les genres précédents, courbée en crochet (*Rastrites*), ramifiée en deux branches disposées en accolade (*Didymograptus*), en trois (*Cyrtograptus*), en quatre (*Tetragraptus*), en un grand nombre de branches rayonnantes (*Dichograptus*), courbée en S et portant des rameaux sur toute sa longueur (*Cœnograptus*), enroulée en hélice (*Monograptus turriculatus*) ou disposée en forme de réseau (*Dictyonema*). L'opinion générale est qu'il s'agit encore ici de polypes hydraires; mais Allmann a fait remarquer que l'ouverture des loges est trop petite pour livrer passage à un polype pourvu de ses tentacules; il a signalé d'autre part que chez les Plumulaires il y a deux sortes de loges, les unes assez grandes occupées par les polypes, les autres plus petites n'abritant que des filaments pêcheurs, des dactylomérides, dont la surface peut émettre des prolongements protoplasmiques, capables de capturer des proies et de les digérer, de se nourrir par eux-mêmes conséquemment. En outre il a vu qu'au début, les colonies de Plumulaires étaient uniquement formées de ces petites loges à filaments pêcheurs, et il n'y avait plus, dès lors, de raison de ne pas considérer les Graptolithes comme des hydraires demeurés à cet état bien qu'adultes. Une importante découverte due à R. Ruedemann a changé la position de la question. On croyait autrefois que les tiges que l'on trouve si abondamment dans les schistes siluriens étaient libres, et on faisait pour elles autant d'espèces que de formes. En réalité, des tiges présentant des caractères très différents étaient attachées à un corps mou, formé en général d'une sorte de sphère centrale, entourée d'une couronne de sphères plus petites, entre lesquelles ou sous lesquelles se fixaient les tiges pourvues de loges. On a considéré ce corps comme un simple flotteur; mais c'est bien diminuer le rôle d'un organe aussi volumineux, qui semble avoir été pourvu d'une bouche. Il paraît plus vraisemblable que c'était là le véritable orga-

nisme, qu'il avait une organisation comparable à celle d'une méduse ou d'un cydippe, animaux également pourvus de longs tentacules, et que les tiges pourvues de loges étaient réellement, comme le pensait Allmann, des filaments pêcheurs, nématophores ou dactylomérides, revêtus d'un étui rigide au lieu de demeurer libres et flexibles. Comment les graptolithes hélicoïdaux dont les axes sont reliés par un réseau intermédiaire se rattachaient-ils à l'organisme central? Cela reste encore obscur.

L'étude des polypes hydraires actuels est pleine d'enseignements. On a vu précédemment comment ils avaient donné naissance aux méduses à ombrelle en cloche, dont l'ouverture est bordée en dedans d'un anneau membraneux ou *velum*, et, par accélération embryogénique, aux grandes méduses à ombrelle sans velum, les Pélagies, les Rhizostomes, etc. Toutes ces méduses ont quatre plans de symétrie et on peut en rapprocher les moules internes présentant le même mode de symétrie, qu'on désigne sous les noms de *Medusites* et de *Laotira* dans le cambrien; la parenté des *Brooksella* avec les méduses est moins évidente.

Mais les polypes hydraires ont un autre intérêt.

On croyait autrefois que tous les polypiers calcaires étaient construits par des animaux semblables à ceux qui édifient les rameaux de corail. On distinguait seulement parmi eux des polypiers formés de tubes divisés en étages par des planchers horizontaux : c'étaient les *Polypiers tabulés*, et d'autres à qui leur aspect grossier a valu le nom de *Polypiers rugueux*. Au cours de la fameuse campagne du *Challenger*, l'un des membres de la mission, Moseley, montra que parmi les Tabulés, il y avait des polypiers construits par des animaux voisins du corail et qu'on nomme des Alcyonnaires (1), mais que les autres étaient, comme l'avaient vu Dana et Louis Agassiz, l'œuvre de polypes du groupe des Hydraires. J'ai montré de mon côté (2) comment

(1) *Heliopora*. — (2) **XXVII**, 298.

la série des Hydraires à polypier calcaire tabulé que Moseley a groupés sous la dénomination d'Hydrocoralliaires et qui comprend les *Spinipora*, *Millepora*, *Allopora*, *Stylaster*, *Cryptohelia*, etc., conduisait directement, par des groupements spéciaux, analogues à ceux qui ont produit les méduses, aux polypes qui, de notre temps, construisent les récifs et aux vulgaires Anémones de mer, formant tous ensemble l'ordre de Hexacoralliaires, et comment des recherches embryogéniques de Lacaze Duthiers sur ces polypes et de celles de Marion sur les Alcyonnaires on devait conclure que, malgré leur huit tentacules, les Alcyonnaires n'étaient que des Hexacoralliaires modifiés par l'accélération embryogénique. Or les hexacoralliaires n'apparaissent qu'à l'époque secondaire, durant l'époque triasique. Il est donc fort peu probable que les *Heliolites* et les *Plasmopora* du silurien, les *Cladochonus* et les *Syringopora* de la période anthracolithique aient pu être des Alcyonnaires; c'étaient vraisemblablement des types spéciaux d'Hydrocoralliaires et l'on peut en dire autant des autres formes rangées par les auteurs parmi les Tabulés (1). D'autre part, les Hexacoralliaires sont remarquables par la netteté des chambres de leur polypier, et par la régularité de la disposition en systèmes rayonnants des lames qui limitent ces chambres. Tout cela se déduit rigoureusement de la théorie qui les rattache aux Hydrocoralliaires.

On ne trouve rien de pareil chez les Tétracoralliaires de la période primitive, dont les lames et les loges sont dans un état tout à fait rudimentaire. Il y a des méduses fixées, les Lucernaires et autres; les grandes méduses qui constituent la classe des Acalèphes commencent, elles aussi, sous la forme de Scyphistomes fixés. Puisque certaines Hydractinies et tous les Hydrocoralliaires, qui sont de vrais polypes hydraires, sécrètent abondamment du calcaire, il n'y a aucune invraisemblance à admettre que des organismes comparables aux Lucernaires et

(1) *Favosites, Alveolites, Trachypora, Aulopora* du dévonien ; *Chætetes, Michelinia* de l'anthracolithique.

aux Scyphistomes aient pu en faire autant ; c'est donc dans leur voisinage qu'on devrait classer les Tétracoralliaires qui ont construit autour des continents dévoniens et anthracolithiques de vastes récifs de coraux, ultérieurement devenus des marbres. Théoriquement ces Tétracoralliaires devaient apparaître avant les Hexacoralliaires.

Le *Pleurodictyum problematicum* du dévonien, pareil à un entonnoir profond, à parois formées de grains elliptiques, unis entre eux par des tigelles transversales, et au fond duquel se trouverait une sorte de serpule repliée sur elle-même, ressemble bien davantage à un bryozoaire tel que les *Adeona*, également en entonnoir, de l'époque actuelle qu'à un hydraire. Il est d'ailleurs prudent de ne pas trop s'avancer quand il s'agit de faire le départ de certaines formes entre les Hydrocoralliaires et les Bryozoaires. Ces derniers se laissent facilement reconnaître dès le silurien. Ils se sont perpétués nombreux jusqu'à nos jours, sans jamais jouer un rôle important et sans avoir présenté la moindre tendance vers une évolution supérieure ; nous les laisserons désormais de côté, comme les Éponges.

Nous arrivons au type des Artiozoaires, qui a débuté simultanément par deux sortes d'animaux segmentés, les Arthropodes, qui ont gardé d'une manière presque absolue leur structure primitive et dont l'évolution ne s'est pas élevée; les Vers, également segmentés mais éminemment plastiques, et dont nous avons précédemment conté les avatars, en laissant présager leurs hautes destinées.

L'évolution des Arthropodes peut être schématisée d'une façon très simple. Nous avons déjà appelé l'attention sur les Péripates, ces êtres ambigus, ballottés des Vers aux Arthropodes, qui semblent encore répartis de nos jours sur les limites du vieux continent de Gondwana. Tous les segments de leur corps sont semblables, sauf trois : le premier qui porte des appendices tactiles, comparables à des antennes, le second qui porte la bouche, le troisième muni d'une paire d'appendices

qui se dirigent vers la bouche, sont pourvus d'ongles servant de mâchoires et sont incorporés à la région céphalique par la formation d'une sorte de lèvre qui s'élève derrière eux et vient se souder aux coins de la bouche, les enfermant ainsi dans une façon de cavité buccale. De même chez les Arthropodes les appendices locomoteurs se mettent successivement, en nombre variable, et de façons diverses au service de la mastication. Les premiers essais dans ce sens nous sont encore inconnus. L'algonkien, qui recèle déjà de nombreux débris d'Arthropodes, nous les fera peut-être connaître.

Au cambrien nous sommes en présence d'adaptations assez avancées. Dans un premier groupe, les cinq (Eurypteridæ) ou six premières pattes (Limules) conservent une forme peu différente de celle des pattes locomotrices, ou gardent même cette qualité, mais elles entourent la bouche et leur hanche porte une lame saillante qui contribue à la mastication; la première paire était en forme de pince chez les *Pterygotus* qui pendant la période dévonienne ont acquis $2^{m},50$ de long (1); elle était semblable aux suivantes chez les *Eurypterus*, et dans ces deux genres la cinquième paire, très grande et aplatie, constituait une véritable nageoire. Chez les Limules, qui existaient déjà aux temps siluriens et vivent encore de nos jours aux Moluques, dans les mers du Japon et des deux côtés de l'isthme de Panama, les cinq premières paires de pattes se terminent en pinces, la première étant plus petite que les autres; l'extrémité de la dernière paire est munie d'appendices compliqués qui ne modifient guère sa physionomie. Tous les segments pourvus de ces appendices sont réunis en un vaste bouclier portant les yeux et qu'on pourrait à la rigueur considérer comme une sorte de tête. On réunit ces animaux sous le nom de Mérostomés qui signifie que leurs membres entourent leur bouche. Il est digne de remarque que dans ce groupe, en apparence très homogène, les Euryptères et les Ptérygotes aient eu si peu de durée, tandis que les Limules

(1) *Pterygotus anglicus*.

sont demeurés presque immuables pendant vingt millions d'années.

A côté de ces animaux vivaient les TRILOBITES, chez qui la première paire d'appendices était déjà transformée en antennes, tandis que les cinq autres gardaient la structure propre aux Mérostomés, dont il n'y a aucune nécessité de les séparer. Sur les articles abdominaux étaient insérées de toutes petites pattes surmontées de branchies, et si fragiles, si délicates, qu'on a été longtemps sans les apercevoir et qu'on se demande comment pouvaient les utiliser des animaux aussi lourds. Ils vivaient sur le sable, et pouvaient sans doute descendre à de grandes profondeurs, car quelques espèces sont aveugles ; d'autres (*Æglina*) avaient, au contraire, des yeux énormes. Deux sillons longitudinaux qui se prolongeaient sur le bouclier où ils découpaient une aire médiane, la *glabelle*, qu'ils séparaient des *joues*, et de chaque côté de laquelle se trouvaient les yeux, s'étendaient sur toute la longueur de l'abdomen, dont les derniers articles étaient quelquefois confondus pour former un *pygidium* faisant pendant au bouclier (*Bronteus*, *Agnostus*). Le corps était ainsi divisé en trois bandes longitudinales d'où ce nom de Trilobites. On a pu recueillir des embryons de Trilobites, ceux du genre cambrien *Sao*, en particulier, et constater qu'une fois le bouclier et le dernier segment formés, tous les autres segments se constituaient un à un, en avant de celui-ci, de sorte que le mode de formation des segments du corps, commun aujourd'hui aux arthropodes, aux vers annelés et aux vertébrés, remonte au moins à vingt millions d'années; autant dire qu'il n'a jamais varié, pas plus que les conditions mécaniques qui l'ont déterminé.

Durant l'ère primaire les Trilobites se sont répandues dans toutes les mers; elles abondent surtout pendant les périodes silurienne et dévonienne, et ne sont plus représentées, pendant la période carbonifère, que par la famille des Proëtidés, réduite lele-même aux deux genres : *Proëta*, et *Phillipsia*, dont l'as-

pect n'est pas sans rappeler celui des *Paradoxides* cambriens, les plus anciennes Trilobites connues. La variété des formes de ces animaux est considérable. On ne distingue pas seulement parmi elles des espèces littorales et des espèces de profondeur, mais il y a aussi des espèces et des genres régionaux, pour ainsi dire, permettant de délimiter déjà, au cambrien, des provinces zoologiques. A ce moment, les espèces et même les genres des bras de mer septentrionaux étaient distincts des espèces de la Tèthys, et la mer circumpacifique avait aussi ses espèces propres. Les *Sao*, les *Conocephalus Heberti* et *Levyi*, le *Paradoxides mediterraneus* manquaient sur les côtes du continent Nord-Atlantique où sont communs les *Olenus*. Dans le Pacifique apparaissent à l'époque de l'acadien les premiers ASAPHIDÆ : ils se répandront de là vers les mers de la future Europe, où ils arriveront à l'époque ordovicienne seulement. Les *Dicellocephalus* caractérisent la région de l'océan circumpacifique, qui s'étend des côtes occidentales de l'Amérique à l'Australie où, en revanche, les *Olenus* font défaut. Pendant la période silurienne, certaines Trilobites acquièrent la faculté de se rouler en boule, comme le font actuellement les Cloportes et les *Glomeris*; leurs genres et leurs espèces se multiplient tout en restant confinés dans des provinces distinctes, mais l'existence de ces provinces n'implique pas une différence de climat, car les dépôts calcaires ne changent pas de caractère; les Graptolithes flottants demeurent cosmopolites et des bancs de coraux continuent à se former aussi bien dans les régions septentrionales que dans les régions équatoriales; la température demeure donc élevée partout. Néanmoins les Trilobites permettent de distinguer nettement dès l'ordovicien une province de l'Europe septentrionale, une province américaine, et une province de la Bohême ; les deux premières tendent à se confondre durant le gothlandien, par suite des échanges qui se sont accomplis entre ces diverses régions, et, en particulier, entre l'Amérique et l'Europe, par l'intermédiaire de l'océan

Arctique. Au dévonien cette communication disparaît : les deux faunes américaine et européenne redeviennent distinctes. La faune américaine s'étend des États-Unis à l'Amérique du Sud et à l'Afrique australe, tandis que la faune européenne s'étend sur le reste du monde.

Les Trilobites n'ont plus d'importance au carbonifère. Par la présence d'antennes ces étranges animaux se rapprochaient des Crustacés; mais ceux-ci ont deux paires d'antennes, et leurs appendices buccaux sont franchement devenus des mandibules, des mâchoires et des maxilles. Comme chez les Trilobites, cinq paires d'appendices ou six comme chez les Limules, si on compte le pédoncule des yeux des Crustacés supérieurs, sont employées soit au tact, soit à la préhension et à la trituration des aliments. La constance de ces nombres conduit à penser que les Crustacés ont bien pu descendre des Trilobites; mais ils se sont séparés de bonne heure, car il y a déjà à l'époque cambrienne de vrais crustacés à larges pattes membraneuses, servant à la fois à la respiration et à la natation, comme celles de nos *Apus* qui ressemblent encore un peu aux Trilobites, ou de nos Branchipes, de nos Artémies et de nos Esthéries (1). Il y a aussi des Crustacés voisins de ces *Cypris*, connus, sous le nom de « poux d'eau », fréquemment employés par les pisciculteurs pour nourrir leurs alevins (2) et à qui leur carapace bivalve, comme la coquille d'un mollusque lamellibranche, a valu le nom d'Ostracodes. Ces deux ordres de Crustacés se renforceront désormais par l'apparition de genres nouveaux qui pourront se substituer aux anciens ou s'ajouter à eux. Dès le silurien à l'ordre des Ostracodes fait suite celui des Cirripèdes représentés de nos jours par les Balanes, qui hérissent les rochers découverts à chaque marée de leurs coquilles en forme de tronc de pyramide à bord tranchant, et les Anatifes qui se suspendent par un long pédoncule aux bois flottants ou à la quille

(1) *Hymenocaris, Protocaris.* — (2) *Isoxys, Leperditia, Primitia.*

des navires. On a longtemps hésité sur la place que devaient occuper ces animaux; mais ils naissent sous la forme de *nauplius*, (p. 145) commune à tous les Crustacés inférieurs; ils se transforment ensuite, en acquérant une coquille bivalve et six paires de pattes abdominales bifurquées, en petits êtres si semblables d'aspect aux Ostracodes qu'on les a nommés *larves cypridiennes*. Cet état implique une parenté non pas avec les Ostracodes actuels, mais avec quelque ostracode précambrien encore inconnu. La larve cypridienne se fixe, par une ventouse que portent ses antennes, sur un corps solide submergé, et c'est seulement alors que, tout en subissant un changement important d'attitude, elle prend définitivement les caractères d'un cirripède.

On a découvert aussi dans les terrains siluriens des Myriapodes (1) et des Insectes. Ceci est important. Les Myriapodes et les Insectes dérivent, nous l'avons vu, les premiers des crustacés entomostracés, les seconds des crustacés supérieurs ou malacostracés; l'existence d'un myriapode et d'un insecte dans le silurien suppose, par conséquent, l'existence de crustacés de ces deux ordres à une époque antérieure, soit dans le silurien inférieur, soit dans le cambrien. On n'en connaît pas; mais de telles lacunes se retrouvent dans tous les groupes; bien plus, des groupes que l'on voit prospérer à une époque semblent disparaître quelque temps après, pour reparaître plus tard, presque sous les mêmes formes, et quelquefois prospérer jusqu'à nos jours. Il est évident que ces disparitions et réapparitions ne sont que des apparences; elles cachent simplement, quand il ne s'agit pas plus simplement encore d'une exploration incomplète, des émigrations provoquées par un changement dans la composition des eaux, dans leur profondeur, dans la nature des dépôts du fond, dans la direction des courants, etc. Ces phénomènes ne sont ni rares, ni mystérieux. Il y a quelques années une série d'hivers rigoureux a fait dis-

(1) *Archidesmus*.

paraître de la baie de Saint-Vaast-la-Hougue, rendue célèbre par les travaux d'Henri Milne-Edwards, de Quatrefages, Claparède, Grube et bien d'autres, les Comatules et les *Asterina* qui y abondaient, et y ont amené, en revanche, diverses espèces du nord inconnues jusque-là dans ces parages. L'ancienne faune n'a pas encore été reconstituée. C'est en petit ce qui s'est passé plusieurs fois dans les périodes géologiques.

Pourquoi les Trilobites ont-elles disparu? Nous avons vu que l'existence des Myriapodes et des Insectes, à la fin de l'ère primaire, impliquait la présence dans les mers de cette époque des crustacés supérieurs, dont les restes fossiles ne commencent à être nombreux que durant l'ère suivante. Avec leur armature buccale très complète, leurs pattes robustes, les unes marcheuses, les autres natatrices, ces animaux devaient avoir facilement le dessus sur les Trilobites, soit qu'ils en fissent leur proie, soit qu'ils fussent simplement avec eux en concurrence alimentaire. Ceci, comme disait Victor Hugo, devait tuer cela. Ainsi la simple constatation de la présence d'un groupe d'animaux à une époque déterminée peut devenir éminemment suggestive.

Les faits significatifs de ce genre ne manquent pas. On a découvert deux genres de Scorpions dans le silurien (p. 200). Cela n'a rien d'étonnant puisque les Scorpions sont apparentés de très près aux mérostomés primitifs et surtout aux Limules; mais les Scorpions sont essentiellement carnivores et ne s'attaquent guère qu'à d'autres Arthropodes terrestres. Il est donc certain qu'à l'époque silurienne vivaient sur la terre d'autres arthropodes, et cela est confirmé par la découverte d'une aile de Punaise (1) dans ces mêmes terrains. Les Punaises sont, en effet, des insectes déjà très éloignés des formes primitives. Si leurs métamorphoses se réduisent encore à l'apparition des ailes, les pièces de leur bouche sont très modifiées : les mandibules et les mâchoires se sont allongées en stylets pointus, la lèvre infé-

(1) *Protocimex siluricus.*

rieure est devenue une gaine dans laquelle ces stylets sont enfermés; il a fallu du temps, beaucoup de temps, pour que les pièces primitives qui gardaient encore des traits frappants de leur ancienne forme de pattes se soient modifiées à ce point, et pendant ce temps les insectes broyeurs : névroptères et orthoptères tout au moins, ont dû se multipler abondamment. On n'en connaît presque pas, et cela tient à ce qu'il ne reste que peu de chose des formations continentales de la période silurienne.

Il n'est pas absolument invraisemblable qu'il existât déjà des Insectes durant la période cambrienne; cependant leur classe semble avoir fait peu de progrès durant la période dévonienne, ce ne sont encore que des névroptères et des hémiptères. Il faut arriver jusqu'à la période anthracolithique pour assister à un véritable épanouissement de cette classe. Une abondante végétation de Lycopodes, de Prêles, de Fougères, de Conifères, de Cycadées, de Cordaïtées couvre alors la Terre. Des Lycopodes, des Prêles se sont haussées au rang d'arbres qui peuvent s'égaler à nos plus belles Conifères; l'atmosphère est chaude sans excès, la température uniforme est plutôt élevée, la lumière du soleil filtre à travers une atmosphère humide et nuageuse; c'est la période que traverse sans doute actuellement la planète Vénus. Ce sont les meilleures conditions pour les insectes, représentés surtout alors par des Névroptères comme les Ephémères, les Libellules, les Perles, ou des Orthoptères comme les Phasmes, les Blattes, les Sauterelles même, ou encore des hémiptères (1) voisins de nos grands Fulgores, de nos Cigales et de nos Punaises. Les ordres nettement délimités que nous reconnaissons aujourd'hui ne l'étaient pas encore, il y avait des passages entre les Névroptères et les Orthoptères notamment : le *Protophasma Dumasi* avait un corps de phasme et quatre grandes ailes planes de névroptère, alors que les Phasmes actuels sont dépourvus d'ailes, ou ont des ailes antérieures très petites et des ailes postérieures repliées

(1) *Dictyocicada, Eugereon, Fulgorina, Mecynostoma, Phtanocoris.*

en éventail. Ce dernier caractère, qui est aujourd'hui commun à tous les Orthoptères, faisait défaut à leurs ancêtres, dont les ailes postérieures, à peine plus larges que les antérieures, demeuraient planes au repos. Enfin, sur certaines formes on a cru reconnaître des traces d'une paire d'ailes portées par le prothorax qui en est aujourd'hui toujours dépourvu; cela confirmerait l'opinion précédemment émise, que les ailes étaient d'abord des dépendances des pattes, des épipodites, puisque chacun des segments pourvus de ces dernières pouvait être pourvu des premières. Mais ce qu'il y a de plus étonnant chez les Insectes de la période carbonifère, qui ont été étudiés avec le plus grand soin par Charles Brongniart, c'est la taille qu'ils pouvaient acquérir. Le *Titanophasma Fayoli* atteignait vingt-huit centimètres de long; certaines Libellules avaient soixante-dix centimètres d'envergure, et les ailes d'une espèce d'Ephémère du genre *Meganeura* ne mesuraient pas moins de trente-trois centimètres de long. Sans doute cette grande taille était propre à certaines espèces, et d'autre part de très grands phasmes, les *Cyphocrana* par exemple, de très grands scarabées, les *Dynastes*, les *Goliaths*, vivent encore dans les pays chauds; elle n'en mérite pas moins l'attention. Actuellement la vie des Insectes est brève; elle ne dépasse guère une année que pour les larves qui vivent abritées sous la terre, comme celles des hanetons ou des cigales, dans les troncs d'arbres, comme celles des cerfs-volants et des grands capricornes, ou dans les eaux qui ne gèlent pas, comme celles de nos grandes Libellules. Ces larves vivent trois ou quatre ans; on cite une Cigale des États-Unis (1) dont la vie souterraine se prolongerait jusqu'à dix-sept ans. C'est si bien une question d'abri, que la longévité s'accroît beaucoup chez les insectes adultes qui vivent en société et sont arrivés à se construire un domicile commun, comme les Termites, les Guêpes sociales, les Abeilles et les Fourmis. Nous

(1) *Cicada septemdecim.*

sommes amenés par là à cette conclusion que la brièveté de la vie des Insectes a été causée par les variations annuelles de la température qui ramènent périodiquement les hivers trop froids ou les étés trop pluvieux. Ces variations n'existaient pas durant la période primaire ; elles n'ont commencé à se caractériser nettement, et encore seulement d'une façon modérée, dans les régions polaires, qu'à la fin de la période secondaire ; il n'y avait pas de raison dès lors pour que la longévité des larves d'insectes et des insectes adultes ne fût pas plus grande et leur permît d'atteindre une plus grande taille.

Actuellement les insectes ne grandissent que pendant leur vie larvaire. Arrivés au terme de cette vie, durant laquelle ils subissent trois ou quatre mues correspondant à des époques de brusque croissance, ils changent encore une fois de peau et l'on voit alors apparaître, annexés à leur méso- et à leur métathorax, de courts étuis ovales, les rudiments des ailes. Après cette mue, ils peuvent conserver leur activité, ce qui est le cas des Névroptères, Orthoptères et Hémiptères, seuls ordres représentés durant l'ère primaire, ou perdre les mouvements de leurs appendices céphaliques et thoraciques, ce qui arrive aux Coléoptères, Hyménoptères, Lépidoptères et Diptères plus récents. Les premiers sont les insectes à demi-métamorphose, et la forme de leur corps est déterminée dès leur naissance ; les seconds, les insectes à métamorphose complète, dont les larves, suivant leur genre de vie, peuvent être agiles et sveltes (1), dodues et pourvues de pattes thoraciques seulement (2), pourvues de pattes thoraciques et de fausses pattes abdominales (3), dépourvues de pattes (4), dépourvues de pattes et de tête différenciée (5). Les phases de la vie ne sont pas toujours aussi nettement coupées que nous venons de le dire. Chez les larves aquatiques des Ephémères, qui portent sur le dos de chacun des

(1) Larves campodéiformes. — (2) Larves mélolonthoïdes. — (3) Larves éruciformes ou chenilles. — (4) Larves helminthoïdes. — (5) Larves acéphales.

articles de leur abdomen une paire de lames rappellant singulièrement des rudiments d'ailes, les ébauches de celles-ci se montrent dès la première ou la seconde mue et grandissent à chacune des mues suivantes ; il en est de même chez les Termites qui sont des insectes morphologiquement inférieurs. On peut conclure de là que non seulement les insectes primitifs n'avaient pas de métamorphoses brusques, mais que la croissance de leurs ailes se répartissait sur toutes les phases de leur vie et que leur évolution était continue comme celle des autres animaux. Les insectes ailés actuels ne grandissent plus, pondent et meurent ; mais nos Ephémères, héritiers des premières formes réalisées, après avoir atteint leur état définitif, ne s'envolent qu'après s'être débarrassés d'une enveloppe légère, ce qui est, en fait, une dernière mue. On peut dès lors se demander si, devenus adultes, les anciens Insectes n'étaient pas demeurés susceptibles de grandir et de muer. Il faudrait admettre, dans ce cas, ou bien que les ailes étaient encore faites de cellules vivantes alors qu'il n'y a plus de vivant dans les ailes de nos insectes que les muscles qui s'attachent à la base pour les faire mouvoir, ou bien que les ailes tombaient spontanément, comme c'est le cas pour les Termites, où leur chute est préparée d'avance par la formation à leur base d'une ligne de rupture, mais qu'elles pouvaient ensuite se reformer à chaque période reproductrice. Ceci ferait effectivement rentrer les insectes dans la règle générale. N'est-il pas singulier qu'ils n'aient plus que quelques semaines à vivre, lorsqu'ils ont acquis toute leur perfection ? Beaucoup d'autres animaux, de modestes Vers (1), des Poissons et des Oiseaux nombreux (2), revêtent, au moment des amours, des couleurs brillantes ou des ornements souvent splendides ; quelquefois leurs yeux s'agrandissent, leurs organes de locomotion se perfectionnent ; leur agilité devient extrême, et

(1) Des Syllidiens (*Autolytus*, *Myrianis*, etc.), des Néréidiens (*Nereis cultrifera*), des *Phyllodoce*, des Cirratules.
(2) Macropodes de la Chine, Epinoches, Vairons.

tout ce qui les distingue alors constitue leur *robe de noces*. C'est bien par des traits de ce genre que les insectes adultes diffèrent de leurs larves. Leur état définitif ne serait-il qu'une robe de noces qu'ils ne revêtiraient qu'une fois, de nos jours, mais qu'ils revêtaient jadis à chaque période de reproduction? La question peut être posée, puisque les grands Crustacés peuvent se reproduire plusieurs fois. La durée de la vie des Insectes adultes peut, d'ailleurs, grâce à certaines précautions, être allongée. M. Labitte a conservé un Blaps vivant plus de huit ans.

Il n'y a rien à dire des Vers qui ont laissé des traces évidentes (*Nereites*, *Arenicolites*, *Scolithus*, etc.), sous forme de pistes imprimées par leur corps sur le sable ou sur la vase, de trous qu'ils ont habités, ou de débris solides tels que des mâchoires. Parmi ces animaux il y a encore des Eunices, des Amphinomes qui atteignent une très grande taille, jusqu'à deux mètres de long et quatre centimètres de large. Il est bien possible qu'il faille rapporter au passage de grands Vers des pistes telles que celles qu'on a groupées sous le nom de Bilobites et qu'on attribue quelquefois aux Trilobites. Aux Vers doivent être rattachés des animaux, les Brachiopodes, qu'on a pris longtemps pour des Mollusques et qui, en somme, demeurent encore isolés. Morse a donné de ces animaux une explication très intéressante, et qui lui a inspiré toute une théorie, celle de la *céphalisation* (1). Il fait remarquer que chez la plupart des animaux segmentés la région du corps qui avoisine la bouche prend un grand développement par rapport à la région postérieure qui tend à s'amoindrir et à disparaître. Chez les Mérostomés, les Trilobites, le corps se termine en pointe; celui des Scorpions se rétrécit en un postabdomen qui porte le crochet venimeux. Chez la plupart des Batraciens, les Reptiles, les Mammifères, les viscères se concentrent si bien dans la région, sinon tout à fait antérieure, du moins moyenne, qu'il se constitue en arrière de l'anus une queue, parfois utilisée pour la préhension et qui peut

(1) LXXVI.

disparaître quand elle n'est pas utilisée. Ce phénomène s'explique facilement par le principe de Lamarck. Sur la région antérieure du corps sont rassemblés, outre la bouche, les organes des sens. Elle engage les mouvements qui entraînent le reste du corps, et la région postérieure ne fait que la suivre. La région antérieure est donc, en général, la région active par excellence, celle qui, d'après le principe invoqué tout à l'heure, doit atteindre le développement maximum, tandis que la partie inactive s'atrophie. C'est la raison pour laquelle, chez les Arthropodes et les Vers supérieurs, le nombre des segments du corps tend à se réduire et à se fixer à ce qui est indispensable. Si toutefois, cette réduction opérée, la région postérieure du corps devient active, le nombre de ses segments n'augmente pas, mais ils demeurent volumineux; les Crustacés supérieurs qui nagent, comme les Squilles ou les Crevettes, en frappant l'eau par un brusque reploiement de leur abdomen ont un puissant abdomen, tandis que chez les Crabes uniquement marcheurs, l'abdomen s'atrophie. De même les Poissons, les Cétacés et les Sirénides qui nagent en frappant latéralement l'eau de leur queue ont une large queue. Les Vers marins tubicoles, ceux qui s'enferment dans la vase, vivent dans des conditions qui favorisent singulièrement la région antérieure de leur corps aux dépens de leur région postérieure, privée de tout contact avec le milieu extérieur ; dès lors se produisent sur la tête ces volumineux panaches qui attirent vers l'animal, à l'aide des battements des cils vibratiles dont ils sont couverts, tout à la fois l'eau chargée d'air respirable et les particules alimentaires, et en raison desquels Lamarck appelait tous ces vers des Céphalobranches.

Les Brachiopodes enfermés entre les deux valves de leur coquille se nourrissent exactement par le même procédé. Leur bouche est comprise entre deux panaches respiratoires enroulés en spirale (1) ou en hélice (2) ou diversement contournés avant

(1) Térébratulidés. — (2) Rhynchonelles, *Spirifer*, etc.

de s'enrouler ; ce sont ces panaches qui ont inspiré le nom de Brachiopodes donné aux animaux qui nous occupent. En étudiant l'embryogénie des Lingules qui existaient déjà à l'époque du cambrien et se sont à peine modifiées depuis cette période lointaine, Morse a été frappé de la ressemblance de ces jeunes animaux avec les Serpules; les deux valves de la coquille se développent dans une région du corps de l'animal correspondant au collier de ces dernières; il a été ainsi conduit à considérer les Brachiopodes comme des annélides céphalisées. L'embryogénie ne laisse aucun doute, d'ailleurs, que ces animaux ne dérivent de Vers annelés réduits à un petit nombre de segments. La ressemblance qu'ils présentent avec les mollusques bivalves est toute superficielle. Les valves de leur coquille sont l'une dorsale, l'autre ventrale, au lieu d'être l'une droite, l'autre gauche, comme chez ces derniers, et leur texture est toute différente. L'organisation interne n'a rien de commun avec celle des Mollusques ; en revanche, elle rappelle nettement celle d'un ou deux segments (Rhynchonelles) de Vers annelés qui se seraient individualisés.

Ceci posé, on distingue deux grands types de Brachiopodes : 1° les *Inarticulés* dont les valves de la coquille, de consistance plutôt cornée, sont indépendantes l'une de l'autre ; 2° les *Articulés* dont les deux valves, fortement calcifiées, sont unies l'une à l'autre par une véritable charnière. Ce sont des muscles qui ouvrent la coquille, et non plus, comme chez les Mollusques bivalves ou Lamellibranches, un ligament qui fait ressort; aussi la coquille d'un Brachiopode mort est-elle obstinément fermée, tandis que celle d'un Lamellibranche est bâillante. Les Lingules vivent dans le sable, où elles enfoncent leur long pédoncule mobile, représentant, suivant Morse, le corps de l'Annélide primitive. Les Brachiopodes articulés s'attachent d'une manière permanente aux rochers par l'extrémité de ce pédoncule. Un assez grand nombre d'espèces inarticulées ou articulées se soudent aux rochers par une de leurs

valves. Les Brachiopodes inarticulés ont un tube digestif complet, ouvert aux deux bouts ; celui des Rhynchonelles, encore vivantes comme les Lingules et dont le corps est vraisemblablement composé de deux segments, se termine en cæcum ; chez les autres Articulés, l'appareil digestif se réduit à un sac qui se prolonge en un filament grêle, se dirigeant vers la charnière. Ces dispositions indiquent nettement, conformément à la théorie de la céphalisation, un organisme en voie de réduction.

On peut se demander comment des animaux aussi simplement organisés, voués à l'immobilité, ont pu se multiplier comme ils l'ont fait durant la période primaire et devenir si abondants et si variés qu'ils fournissent aux géologues des caractères statigraphiques des plus précis. Les Inarticulés dominent au cambrien, associés aux Strophoménidés et aux Pentaméridés ; mais dès le silurien, de nombreuses familles, parmi lesquelles celles des Rhynchonellidés, s'ajoutent aux précédentes, et ces dernières existaient déjà, sans doute, dans le cambrien. Parmi les formes nouvelles il faut citer les *Productus*, à valve inférieure très bombée, qui atteindront au carbonifère jusqu'à 1 décimètre de diamètre. Les familles, les genres et les espèces continuent à se multiplier pendant le dévonien ; on voit alors apparaître les Térébratulidés qui habitent encore nos mers. Le carbonifère est plus riche à son tour ; c'est seulement au cours de la période secondaire que le déclin commence et s'accentue jusqu'à la période actuelle où les Brachiopodes ne jouent plus qu'un rôle insignifiant. Pour qu'ils aient pu atteindre une pareille prospérité durant la période primaire, il faut que le plankton, le seul aliment possible pour eux, fût à cette époque bien abondant et peu disputé ; l'ère primaire fut donc aussi celle des microscopiques algues flottantes, des Protozoaires et des menus embryons.

Cette richesse de la mer en plankton était non moins nécessaire à l'évolution des Crinoïdes, qui sont tous des Échinodermes fixés, ne vivant que des petits corpuscules qu'apportent à

leur bouche les courants déterminés par les cils vibratiles de leur gouttière brachiale. La théorie indique que cet embranchement a dû débuter par des formes plus ou moins sphéroïdales dérivées d'un ver à corps court, enroulé de manière à décrire un tour d'hélice ; les Cystidés limités à la période primaire semblent répondre à cette première phase de l'évolution des Échinodermes. Nous avons vu comment l'embryogénie donnait ensuite une forme rayonnée initiale, mais primitivement sans bras, de laquelle il est facile de faire dériver toutes les autres classes. Les Cystidés demeurent en deçà de cette forme embryonnaire; ils semblent avoir cédé à des actions extérieures très diverses, ce qu'explique leur fixation au sol qui ne leur a permis de se soustraire à aucune d'elles. Cette fixation a entraîné d'ailleurs des déformations propres à rendre méconnaissable le type initial, déformations différentes suivant l'âge auquel se fixe l'embryon et les conditions de sa fixation. Un embryon moyen se fixe d'ordinaire par son extrémité antérieure; mais il s'agit ici d'embryons alourdis par le calcaire contenu dans leurs tissus, qui ont été entraînés sur le sol et qui ont pu dès lors s'attacher à lui par n'importe quel point de leur corps. Une fois la fixation accomplie, l'embryon a dû effectuer, comme tous les embryons fixés, une *métamorphose rotative* destinée à amener sa bouche et son anus en un point aussi opposé que possible au point de fixation; c'est la métamorphose qu'accomplissent les Cirripèdes parmi les Arthropodes, les Crinoïdes parmi les Échinodermes actuels, ainsi que les Tuniciers, et qui déforme si complètement leur corps. Les Cystidés ont évidemment subi cette rotation, puisque leur bouche, leur anus et leur orifice génital sont d'ordinaire rassemblés sur le pôle opposé à leur point de fixation ; elle n'a pu se produire sans altérer profondément le type initial, et c'est sans doute pourquoi ces animaux paraissent si aberrants. Au surplus immobiles, presque dénués de tout appareil propre à déterminer un courant alimentaire et respiratoire vers leur bouche, leur

mode d'alimentation, quelle que soit la richesse en plankton de l'eau qui les entourait, demeure un problème ; peut-être faut-il admettre que leur tube digestif était très richement cilié, ou avoir recours à la symbiose avec des algues vertes.

Dès le silurien les autres classes des Échinodermes sont déjà ébauchées et représentées par de nombreux individus, mais cependant les formes primaires sont très différentes des formes actuelles et parfois moins nettement tranchées; on connaît, par exemple, des Étoiles de mer dont la plaque madréporique est située sur la face ventrale du corps comme celle des Ophiures. Chez les Oursins, les fuseaux ambulacraires sont très étroits, comme ils le sont encore chez les Oursins actuels, à piquants énormes, qu'on nomme des *Cidaris* ; ils sont parfois presque linéaires et sinueux ; les plaques interambulacraires sont nombreuses et disposées en mosaïque (1), au lieu de ne former que deux rangées alternes dans chaque fuseau ; toutefois au carbonifère apparaissent de vrais *Cidaris*, et même des Diadèmes à piquants longs, creux et fragiles, analogues à ceux de la Méditerranée, à fuseaux ambulacraires déjà élargis et portant des pores ambulacraires disposés par groupes de trois paires. Les Crinoïdes ont des bras relativement courts; leur calice comprend trois cercles de plaques : cinq *radiales*, qui portent les bras ; cinq *basales*, qui sont placées au-dessous d'elle, et alternent avec elles; des *sous-basales*, parfois au nombre de trois seulement, qui rattachent à la tige le cercle des basales. Le dernier de ces cercles de plaques et souvent l'avant-dernier font défaut aux Crinoïdes actuels. La faune primaire des Echinodermes est donc nettement caractérisée.

On a vu (page 160) comment devait être entendue la généalogie des Mollusques. Les Gastéropodes et les Céphalopodes ont pu se constituer simultanément, les premiers gardant une large sole ventrale probablement pourvue de lobes latéraux, utilisés

(1) *Melonites, Lepidocentrus, Cystocidaris, Botrhiocidaris.*

pour la natation ; les seconds rétrécissant leur sole ventrale, au point de la réduire au pourtour de la bouche. Les uns et les autres doivent commencer par des formes à coquille droite, qui s'enroule plus tard en spirale chez les formes nageuses, en hélice chez les Gastéropodes redevenus rampants. La paléontologie confirme ces données qui éclaircissent d'ailleurs quelques-uns de ses problèmes. Si les Gastéropodes descendent réellement des Oscabrions et si leur coquille dérive des plaques dorsales de ces derniers, la coquille des formes les plus anciennes doit être formée de lames triangulaires juxtaposées de leur sommet à leur base ; la coquille des *Conularia* remplit cette condition. La coquille des formes suivantes doit être continue, mais droite ; ainsi se trouve fixée la place des *Hyolithes* et des *Tentaculites* que, faute de cette notion, on classait quelquefois parmi les Vers annelés. La phase d'enroulement en spirale est donnée par les *Bellerophon*. Or toutes ces formes sont cambriennes, et il s'y ajoute des formes hélicoïdales de Diotocardes dont nous avons déjà signalé les caractères primitifs : les *Euomphalus* et les Pleurotomaires ; ces dernières ont persisté jusqu'à nos jours, dans la faune abyssale. Les Troques également diotocardes, les Patelles qui sont des formes de passage, les premiers monotocardes à ouverture de la coquille entière (1), des Pourpres carnassières chez qui l'ouverture de la coquille est échancrée pour le passage d'un siphon destiné à amener l'eau dans la cavité branchiale, s'y ajoutent même dès le silurien. Les Turbos, différant des Troques par leur épais opercule calcaire, et les *Capulus* à petite coquille en forme de capuchon, presque sans spire, se montrent au dévonien ; à l'époque anthracolithique, il s'y ajoute des Vermets dont la coquille s'accole aux corps étrangers et l'on trouve pour la première fois de véritables Escargots et d'autres Gastéropodes pulmonés tels que les Pupes. Peut-être même, étant donné que les dépôts

(1) Littorinidés, Scalaridés, Pyramidellidés.

lacustres et les apports côtiers des cours d'eau sont incomparablement mieux connus à la période anthracifère qu'aux périodes antérieures, la réalisation du type pulmoné avait-elle eu lieu beaucoup plus tôt.

Les types à coquille droite des Céphalopodes sont représentés par les Orthocères. Les Céphalopodes demeuretn nageurs : lorsque leur coquille s'enroulera, elle s'enroulera donc simplement en spirale et demeurera symétrique. Les deux types sont, au plus tard, réalisés au Silurien. C'est seulement à la période crétacée que quelques Ammonitidés, devenus probablement rampants pour les raisons que nous avons dites (page 161), s'enrouleront en hélice, constituant ainsi les Turrilites. Les formes droites et leurs voisines nous permettent d'ailleurs de pénétrer les causes qui ont déterminé les caractères particuliers des coquilles des Céphalopodes. Ces coquilles sont divisées, à l'intérieur, en chambres successives par des cloisons calcaires, concaves vers l'ouverture de la coquille, et qui se relient aux parois de celle-ci, soit graduellement, en gardant leur courbure, ce qui caractérise les formes les plus anciennes, constituant le groupe des Nautilidæ, soit en se plissant de manière que la ligne de jonction de la cloison avec la coquille forme une ligne brisée seulement à son origine (1), ou une ligne onduleuse dont les arcs deviennent de plus en plus nombreux et plus petits par conséquent, dessinant ainsi des lignes de plus en plus compliquées à mesure qu'on avance dans la période jurassique ; ces lignes compliquées de suture caractérisent les Ammonitidæ. Les cloisons sont traversées de la première à la dernière par un tube, le *siphon*, qui chez les Nautiles vivant encore en troupes, entre deux eaux, dans nos mers chaudes, vient s'appliquer contre le sommet de la coquille, en cet endroit percé d'une fente, tandis que dans la coquille interne des Spirules, cloisonnée comme celle des Ammonites, mais à cloisons lisses comme celles

(1) Goniatites à siphon situé près de la paroi convexe de la coquille. Clyménies à siphon sur la paroi opposée.

des Nautiles, le siphon, après avoir traversé la dernière cloison, se termine par un petit sac ovoïde, l'*ovisac*, qu'un ligament, le *prosiphon*, relie au sommet de la coquille.

Sur la tête des Nautiles s'épanouissent des disques chargés de tentacules vermiformes très mobiles qui leur donnent un aspect tout particulier ; ils ont quatre branchies. La tête des Spirules est, au contraire, construite comme celle des Calmars et des Seiches ; elles n'ont que deux branchies. Munier-Chalmas, qui a découvert ces différences de terminaison du siphon chez ces animaux, a constaté que, sous ce rapport, les Spirules étaient semblables aux Ammonites. Il en a conclu que ces dernières étaient, comme elles, des Mollusques dibranchiaux à tête pouvue de dix tentacules, tandis que les grands Céphalopodes à cloisons lisses devraient être rapprochés des Nautiles.

Cependant, les Céphalopodes à coquille droite, cloisonnée, des temps primaires, ont un siphon, beaucoup plus volumineux que celui des vrais Nautilidæ (*Orthoceras*) ; il est tantôt latéral (*Cyrtoceras*), tantôt central, et il peut arriver que les cloisons soient elles-mêmes latérales (*Ascoceras*). On doit conclure de là que le siphon faisait d'abord partie intégrante du corps et qu'il n'est autre chose, chez les Orthocères, dont la coquille droite peut dépasser deux mètres de long, que le tégument du sommet du corps, primitivement fixé à la coquille, étiré par le poids de celle-ci, l'animal nageant, nous l'avons dit, le ventre en l'air. Ce serait une sorte de queue dont la formation aurait été mécaniquement déterminée par le poids de la coquille pendante dans l'eau. Une fois formé, le siphon aurait été héréditairement conservé dans les formes spiralées ultérieures. Ceci implique que la partie du corps du mollusque qui contient les viscères remonte, par à-coups, dans la coquille, à mesure qu'il grandit, et sécrète derrière lui, à chaque station, une cloison qui l'isole de la partie vide de la coquille. Le siphon demeure appliqué contre la paroi extérieure de la coquille chez les Goniatites ; il est interne chez les Clyménies, qui n'ont été que

de faible durée. La théorie que nous avons donnée des Mollusques céphalopodes trouve donc ici une extension toute naturelle. On ne saura jamais, sans doute, exactement comment les Orthocères étaient construits, mais il est impossible de mettre en doute leur parenté généalogique avec les autres céphalopodes à coquille.

Les cloisons commencent à se faire sinueuses, dès le silurien, chez les Goniatites des genres *Anarcestes* et *Agoniatites* ; elles vont ensuite se compliquant dans des séries parallèles, caractérisées par les proportions relatives de la hauteur, de la largeur et de la longueur des loges, notamment de la dernière qui est nécessairement moulée sur le corps de l'animal. Von Mosjisowicz, En. Kayser, Fr. Frich, Émile Haug, etc., ont pu suivre l'évolution graduelle des diverses séries d'Ammonites et apporter ainsi une contribution importante à la démonstration, par les faits, de la théorie de l'évolution.

Au point de vue général où nous sommes placés ici, il y a peu de chose à dire des Mollusques lamellibranches. Ils commencent dès le cambrien inférieur, ce qui indique que des Gastéropodes diotocardes symétriques, dont les Bellérophons sont la suite, devaient exister déjà durant l'ère précambrienne ; mais c'est seulement au silurien que leurs espèces sont assez nombreuses pour qu'on puisse se rendre compte de la marche de leur évolution. Comme la théorie l'indique, les formes les plus anciennes ont une longue charnière avec une articulation très simple ; elles forment le groupe des Paléoconques (1) ; puis viennent les genres dont la charnière très longue porte de nombreuses petites dents très rapprochées les unes des autres, les Cucullelles, les *Leda*, etc. ; ensuite des espèces qui vivent suspendues à un byssus, dont la coquille s'élargit vers le bas, sous l'action de la pesanteur et dont les muscles sont, par conséquent, inégaux : ce sont des Aviculidés d'où dériveront les Monomyaires,

(1) *Cardiola, Conocardium, Dualina, Lunulocardium, Præcardium, Slava, Vlasta, etc.*

formes à un seul muscle rétracteur des valves, que les Peignes représentent dans le dévonien. A côté de ceux-ci se trouvent des Lamellibranches du type normal : les *Anodontopsis*, *Paracyclas*, *Amita*, rappelant, dans une certaine mesure, les formes de nos eaux douces.

Les Vertébrés n'ont pas encore été rencontrés dans le cambrien; mais ils sont représentés dans le silurien et le dévonien par des poissons auxquels s'ajoutent, durant la période anthracifère, des Batraciens et enfin de vrais Reptiles. Cette succession semble bien indiquer que nous sommes au début de l'évolution des Vertébrés. Nous savons qu'ils ont dû commencer sous une forme analogue à l'*Amphioxus*. La nature des tissus de l'*Amphioxus* ne se prête guère à la fossilisation ; mais on a trouvé des méduses fossilisées dont les tissus sont encore plus mous; il ne faut donc pas perdre tout espoir de trouver aussi des ancêtres fossilés des Vertébrés. Après l'*Amphioxus*, les poissons les plus simples, parce qu'ils ne possèdent, pour toute colonne vertébrale, que la corde dorsale des embryons, sont les poissons marsipobranches qui ont pour type les Lamproies. A partir de ces animaux, l'évolution des poissons se poursuit dans un ordre logique. En 1903 je commençais leur histoire, dans mon *Traité de Zoologie*, en faisant remarquer qu'ils avaient été modelés par les pressions qu'ils éprouvaient de la part de l'eau ambiante, au cours de leur natation, pressions principalement déterminées par les mouvements brusques de leur queue, et que le nombre, ainsi que la position, de leurs nageoires dorsales étaient dus à la déchirure d'une nageoire dorsale, primitivement continue, par les courants qui se formaient alors le long des flancs de l'animal (1). Par d'intéressantes expériences M. Frédéric Houssay a bien montré qu'il en était ainsi; il a établi que le point de départ de la forme des poissons était celle que prend un sac de toile cylindrique, rempli d'une pâte molle, lorsqu'on le tire horizontalement dans l'eau ou qu'on le

(1) **XLIII**, 2364 et suivantes.

maintient horizontalement dans un vase plein d'eau en face d'un orifice par lequel s'écoule l'eau de ce vase ; cette forme est ce qu'on appelle la *veine inversée*, parce qu'elle résulte des pressions qu'exercent les filets du liquide en se précipitant à la place de celui qui s'écoule. Mais si nous pouvons expliquer ainsi la forme habituelle des Poissons, nous n'expliquons pas les formes spéciales qu'ils ont revêtues ; elles résultent cependant, elles aussi, des réactions du liquide sur l'animal au cours de la natation, réactions qui modifient en particulier la région branchiale. A ce point de vue on distingue trois types de poissons : les MARSIPOBRANCHES, les ÉLASMOBRANCHES, les CTÉNOBRANCHES. Les Marsipobranches sont représentés actuellement par trois genres seulement : les Bdellostomes, les Myxines et les Lamproies. Les Élasmobranches comprennent des genres nombreux qui se rattachent aux Requins, aux Raies et aux Chimères ; les Cténobranches sont tous les autres poissons. Chez les Marsipobranches l'appareil branchial est constitué par deux séries, à peu près symétriques, de poches situées en arrière de la tête, indépendantes les unes des autres et communiquant directement ou indirectement, chacune par un canal afférent et un canal efférent, d'une part avec l'œsophage, d'autre part avec l'extérieur. Une sorte de grillage cartilagineux soutient chaque poche. Chez les Elasmobranches, ces poches s'aplatissent, se soudent entre elles et se confondent avec les canaux, de sorte que chaque poche communique par une fente avec l'œsophage, par une autre avec l'extérieur ; des arcs cartilagineux, desquels partent de nombreux rayons, soutiennent les cloisons épaisses qui résultent de la fusion des parois des poches. Chez les Cténobranches les cloisons sont réduites aux arcs devenus osseux qui les supportaient, aux rayons qui en dépendent et aux tissus très richement vasculaires qui revêtent l'arc et les rayons qu'il supporte, en laissant à ces derniers toute leur indépendance. Les Bdellostomes ont jusqu'à 14 poches branchiales et leurs embryons présentent les ébauches de beaucoup d'autres ; les

Lamproies en ont sept de chaque côté, les Myxines n'en ont que six s'ouvrant au dehors par un canal unique. Le nombre sept des fentes branchiales est celui qu'on observe aussi chez les Requins du genre *Heptanchus*; il n'y en a que six chez les *Hexanchus* et les *Chlamydoselachus*, cinq chez tous les autres, ainsi que chez les Raies et les Chimères ; enfin, chez les Cténobranches, il y a, en général, quatre arcs branchiaux, rarement moins, et les rudiments d'un cinquième. Cette simple énumération suffit pour montrer que, à mesure que l'on s'élève dans la série des Poissons, la région branchiale va constamment en s'amoindrissant.

Nous avons indiqué (page 152) que la cause de ce raccourcissement était la résistance opposée par l'eau à la progression de l'animal poussé en avant par les battements de sa queue. Comme toujours, certains poissons ont résisté à l'action transformatrice et sont arrivés sans changement jusqu'à nous, tandis que d'autres lui obéissaient et se modifiaient. Cette action s'est, du reste, fait sentir également sur le tronc proprement dit; peu à peu la partie purement musculaire et impulsive du corps, qui constitue la queue, l'a fortement réduit, en même temps que les courants produits par elle chassaient en avant les nageoires ventrales, primitivement distantes des pectorales, au point qu'elles sont venues se placer au-dessous et en avant de celles-ci, et s'articuler sur le squelette branchial lui-même. C'est là, nous l'avons vu, le caractère des poissons nageurs par excellence, des poissons de haute mer.

Les Poissons marsipobranches doivent donc être considérés comme les plus anciens des Poissons. Ils n'ont aucune aptitude à sécréter du calcaire; leur peau est absolument dénuée de toute production solide; toutefois dans la cavité buccale, où elle est naturellement soumise à des frottements incessants, l'épiderme de ses papilles prend, chez les Lamproies, une consistance cornée et constitue de courtes épines pointues, coniques, à large base, qui jouent le rôle de dents mais ne sont

encore que des préfaces de dents : on les nomme des *odontoïdes*. L'épiderme des Élasmobranches, au contraire, se calcifie dans toute son étendue, mais de manière à se transformer en une sorte de mosaïque formée de petites plaques plus épaisses, circonscrites par des intervalles linéaires où l'épiderme demeure flexible. Ce même revêtement se trouve aussi bien dans la bouche que sur les autres parties du corps ; sa structure est exactement celle de l'émail des dents de tous les autres Vertébrés. Au-dessous de l'épiderme, la calcification, au moins par places, gagne la portion superficielle du derme, celle où les cellules vivantes qui l'ont produit n'envoient que de fins prolongements sans y pénétrer elles-mêmes ; elle forme ainsi des plaques solides, plus ou moins recouvertes par l'émail, et parfois des socles portant un aiguillon, comme c'est le cas pour les boucles de raies ; ces plaques, ces socles, constitués par incrustations de calcaire, traversés par de fins canaux, ont exactement la structure de l'*ivoire* des dents, et comme ils sont revêtus d'émail, les dents des Vertébrés terrestres semblent être le dernier reste, localisé sur leur mâchoires, du revêtement défensif des poissons élasmobranches.

Les Élasmobranches n'ont pas d'os ; leurs vertèbres peuvent bien se calcifier ; mais cette calcification, qui se produit de diverses façons, ne modifie pas leur structure interne ; elles demeurent du cartilage imprégné de calcaire. C'est aussi le cas chez les premiers poissons cténobranches, dont les Esturgeons actuels sont les descendants directs ; mais chez eux la calcification s'est, pour ainsi dire, enfoncée ; abandonnant l'épiderme, pour gagner le derme, elle arrive dans le domaine des cellules dermiques étoilées qui constituent alors les corpuscules osseux. Les parties superficielles du derme, plus riches en calcaire, de texture plus serrée, forment d'abord au-dessus de chaque plaque osseuse un vernis brillant, auquel on donne le nom de *ganoïne* ; les poissons ainsi revêtus ont été désignés par Louis Agassiz sous le nom de Ganoides. Ces pois-

sons gardent, au début, un squelette cartilagineux, et ressemblent encore aux Elasmobranches par une conformation spéciale de leur queue dont l'extrémité se redresse en dessus. Sous cette partie redressée, la nageoire caudale se développe en une lame triangulaire qui fait paraître la queue divisée en deux lobes inégaux. En raison de cette dissymétrie de leur queue, les Requins et les Ganoïdes sont dits *hétérocerques*. M. Franz Eilhard Schulze, professeur à l'université de Berlin, a montré que cette disposition facilitait l'ascension dans l'eau des Élasmobranches qui n'ont pas de vessie natatoire. Simple héritage chez les Ganoïdes qui en ont une, elle tend à disparaître chez les *Amia* des fleuves nord-américains, qui par tous leurs autres caractères sont des Ganoïdes. Chez les autres Poissons qualifiés d'*homocerques*, la nageoire caudale est terminée par une courbe convexe régulière, ou échancrée en une fourche aux deux branches semblables.

Déjà chez les Ganoïdes supérieurs l'ossification a envahi le squelette; il est définitivement osseux chez les Poissons homocerques, ou Téléostéens. Là le squelette tégumentaire est encore plus profond que chez les Ganoïdes; l'animal est protégé par des plaques purement et franchement osseuses qui sont contenues dans le derme lui-même, et ce sont les véritables écailles. Sur la tête, ces écailles s'unissent en plaques plus ou moins étendues qui s'appliquent sur le crâne cartilagineux, en sont encore facilement séparables chez les Saumons et les Brochets, par exemple, mais finissent par s'incruster dans le cartilage, s'unissent aux pièces osseuses de la base du crâne et constituent, chez les Vertébrés supérieurs, les os de la voûte du crâne, qualifiés d'os de membrane. Leurs frontaux, leurs pariétaux, leurs écailles temporales et occipitales sont, comme leurs dents, un héritage des poissons.

Les considérations qui précèdent retracent en quelque sorte la généalogie des poissons et fixent l'ordre de leur apparition. On n'en connaît aucune espèce dans le cambrien, et ce que l'on

sait du silurien est évidemment incomplet. On trouve, en effet, dans le dévonien une forme singulière, le *Palæospondylus Gunnii* qui, s'il n'appartenait au type des Marsipobranches, appartiendrait à un type plus primitif. Des formes analogues devaient exister aux temps siluriens; mais elles sont inconnues. En revanche on rencontre dans le silurien supérieur d'Angleterre, de l'île d'Asel, de Podolie, de Galicie, de Landlow et de diverses localités, de singuliers animaux en qui il est impossible de ne pas voir des poissons, mais qui ne semblent pas rentrer dans les séries actuelles. Ce sont des êtres aplatis, ayant un faux air de Trilobites, dû surtout à la forme en bouclier de leur tête. Leur large bouche ventrale, allongée en fente transversale, n'avait pas de mâchoires; leur bouclier céphalique était cependant protégé par de véritables os contenant des corpuscules osseux; ils commencent la série des Poissons ostracodermes, dépourvus de nageoires latérales: c'étaient des *Cephalaspis* et des *Auchenaspis*, associés aux *Pteraspis*, dont le tronc et la queue étaient couverts d'écailles en forme de losange, et à divers autres genres (1). A ces poissons s'ajoutent des poissons analogues, mais pourvus d'une paire de nageoires en forme de palettes, recouvertes, elles aussi, de plaques osseuses polygonales (2), dont certaines formes existaient d'ailleurs peut-être dès le silurien sur les côtes orientales de le Baltique. En même temps se montrent d'autres poissons à tête parfois globuleuse (3), fortement cuirassée de plaques osseuses polygonales, articulées entre elles, qui leur donnent un aspect tout particulier (4).

Les nageoires des *Pterichthys* sont des organes déjà très spécialisés. Comme beaucoup de sélaciens, même pendant la période carbonifère (5), et dont quelques-uns vivent encore (6),

(1) *Ateleaspis, Birkenia, Cyathaspis, Lanarkia, Thelodus,* etc. — (2) *Asterolepis, Bothriolepis, Pterichthys.* — (3) *Coccosteus.* — (4) *Dinichthys, Heterosteus, Homosteus, Titanichthys.* — (5) Les Pleuracanthidés, notamment. — (6) *Chlamydoselachus* des mers du Japon.

ont des nageoires très primitives, presque conformes aux indications généalogiques fournies par l'embryogénie, on doit admettre que ces poissons cuirassés sont plus récents que les Elasmobranches et qu'il y a à chercher dans les terrains plus anciens des termes de connexion entre les deux groupes.

On s'est étonné que ces poissons primitifs eussent une tête si fortement cuirassée et ressemblassent aux Trilobites; on a même voulu les en faire descendre, mais ils ont été trouvés dans le vieux grès rouge qui atteint par places cinq à six mille mètres d'épaisseur et qui n'était que du sable quand il s'est déposé; dans ce sable vivaient, avec des Trilobites nombreuses, les *Pterygotus*, les *Eurypterus* et autres Mérostomés de grande taille auxquels ils donnaient la chasse, probablement en fouissant le sable. Ce genre de vie commun devait nécessairement produire des ressemblances de forme extérieure entre les Poissons chasseurs et leur gibier, et amener sur la tête des premiers un développement considérable de plaques solides, conformément à ce que nous avons dit plus haut relativement à l'action des frottements et des chocs sur le développement des pièces squelettiques.

Les Poissons Cténobranches se montrent d'ailleurs, eux aussi, au dévonien; ce sont des Ganoïdes hétérocerques naturellement (1); des Crossoptérygiens (2) encore représentés dans les fleuves d'Afrique par les deux genres très voisins des Polyptères et des *Calamoichthys*, dont les nageoires pectorales et ventrales, très éloignées les unes des autres, ont la forme d'un gros moignon écailleux, frangé d'une membrane soutenue par des rayons, et des Dipneustes, poissons à poumons, dont les nageoires sont soutenues par un axe pluriarticulé supportant des rayons disposés de chaque côté de l'axe, à peu près symétriquement, comme chez les *Ceratodus* actuels d'Australie.

En même temps que la plupart des Mérostomés et des Trilo-

(1) *Chirolepis*. — (2) *Glyptopomus, Holoptychus, Osteolepis*.

bites, les poissons cuirassés disparaissent à l'époque anthracolithique ou carbonifère, période de formation des dépôts houillers. Les Elasmobranches de cette époque ont, au contraire, laissé de nombreux débris, notamment les Pleuracanthidés, dont le squelette cartilagineux était bourré de corpuscules calcaires qui en ont assuré la parfaite fossilisation ; ils nous ont exactement renseignés sur l'organisation des anciens Elasmobranches, et j'ai montré ailleurs (1) combien il était facile de faire dériver de la structure de leurs nageoires celle des Dipnés, tels que les *Ceratodus*, dont les rayons sont disposés comme les barbes d'une plume de chaque côté d'un rayon axial. Cette disposition rappelle de très loin celle des rayons d'un arc branchial sur cet arc ; elle avait conduit le célèbre anatomiste Gegenbaur à l'audacieuse supposition qu'un arc des ouïes des poissons avait pu se modifier dans sa forme et dans sa fonction au point de devenir une nageoire. Certes un organe peut changer de fonction et aussi de forme, mais encore faut-il qu'il y ait à ce changement une raison. A la rigueur, la chose aurait pu être admise pour les nageoires antérieures, voisines de la cavité branchiale, mais comment l'opération aurait-elle pu se faire pour les nageoires postérieures qui en sont si éloignées, et que dire des nageoires impaires, dont la structure rappelle si exactement celle des nageoires paires, que les *Tristichopterus* semblent porter sur le dos une troisième nageoire, pareille à leurs nageoires pectorales? L'embryogénie, d'accord avec l'anatomie comparée des poissons élasmobranches, démontre que les nageoires furent d'abord représentées par quatre replis longitudinaux de la paroi du corps, s'étendant sur toute sa longueur : un dorsal, un ventral, deux latéraux, ces deux derniers constituant ce qu'on a appelé le *patagium*, les deux premiers formant la nageoire diphycerque qui existe seule chez les Marsipobranches. Chaque segment du corps fournit encore à ces nageoires, au cours de

(1) XL. III, 2132.

leur développement, le même nombre de rayons, de muscles, de vaisseaux et de nerfs. D'abord continus, les replis ont été fendus (voir p. 269) sur les points où s'est porté l'effort du remous provoqué au cours de la natation par les brusques flexions à droite et à gauche de la queue du poisson. Peut-être, on l'a dit, l'absence apparente de nageoires latérales chez certains Ostracodermes est-elle due à ce que ces poissons aplatis ont conservé leur patagium ou l'ont reconstitué, comme l'ont fait, plus en apparence qu'en réalité, les Raies et les Torpilles qui mènent le même genre de vie.

Nous arrivons au commencement de l'ère carbonifère. Devenus, en raison des perfectionnements graduels de leur organisme, de redoutables ennemis pour les Gigantostracés et les Trilobites, que leur taille relativement élevée leur désignait comme proies, et qu'ils ont peut-être fait disparaître, les Poissons se préparent à envahir la terre. Beaucoup d'entre eux ont déjà pénétré dans les eaux douces, et il semble que bien leur en ait pris, car, à part les Esturgeons qui n'y viennent que pour y pondre, c'est là seulement qu'on trouve les derniers représentants de ces ordres anciens de Cténobranches : les Ganoïdes représentés par les Lépidostées et les *Amia* dans l'Amérique du Nord ; les Crossoptérygiens localisés dans les fleuves de l'Afrique ; les Dipnés avec comme représentants : en Afrique les Protoptères, en Amérique les Lépidosirens, en Australie les *Ceratodus*. Ces derniers sont, nous l'avons vu, dans de bonnes conditions pour quitter les eaux douces et s'aventurer sur la terre ferme ; nous avons expliqué par quel mécanisme ils avaient acquis les organes qui devaient préparer leur évasion hors de l'eau (p. 205). Les premiers pionniers de la conquête du sol étaient d'ailleurs bien modestes. Leur peau était couverte d'écailles délicates ; leur crâne cartilagineux était protégé par des os de revêtement semblables à ceux des poissons ; entre les pariétaux existait un espace vide qui, si l'on en juge par ce qui existe encore aujourd'hui chez les Lamproies et quelques Lézards,

devait être occupé par un œil impair, dorsal, dont le nerf était en rapport avec l'épiphyse du cerveau ou glande pinéale, et qui est aujourd'hui devenu plutôt un œil capable d'apprécier la température, un *œil thermique*, qu'un œil optique; un cercle de pièces osseuses fixées à la sclérotique entourait leur pupille; ils n'avaient à tous les membres que *quatre* doigts; ces animaux ressemblaient à des salamandres. On trouve déjà, dans le carbonifère de la Bohême, de l'Irlande et de l'Ohio, les *Keraterpeton*, dont la face ventrale était couverte d'écailles et dont la tête portait deux petites cornes. L'espèce européenne, le *Keraterpeton crassum*, atteignait 30 centimètres de long, dont 20 centimètres pour la queue. Les *Urocordylus* en étaient voisins. Dans les lacs permiens de la région d'Autun se développaient les larves pourvues de branchies extérieures des *Branchiosaurus*, qu'Albert Gaudry a décrites sous le nom de *Protriton petrolei*; on a pu les suivre depuis la longueur de 16 millimètres, jusqu'à l'état adulte; les Branchiosaures ne dépassaient pas alors 64 millimètres de long; c'était de toutes petites salamandres couvertes sur tout leur corps de menues écailles. Les vertèbres de ces animaux n'étaient constituées que par la corde dorsale entourée d'une pellicule osseuse. Il en était de même chez les Dolichosomes qui, bien qu'ayant conservé des branchies extérieures, avaient déjà perdu leurs membres et allongé leur corps au point qu'il avait 150 vertèbres sur une étendue de 1 mètre. *Toutes les fois que les membres font défaut ou sont peu utilisés pour la locomotion, le corps s'allonge ainsi et ses segments se multiplient.* Cette proposition est aussi vraie pour les Arthropodes et les Vers que pour les Vertébrés où le nombre des segments du corps est indiqué par celui des vertèbres qui sont intercalées entre eux. Comme bien d'autres en biologie, elle est susceptible de recevoir deux interprétations opposées et qui, suivant les cas, peuvent être exactes toutes les deux : 1° le corps, s'il s'allonge assez pour suffire par ses ondulations à tous les besoins de la locomotion, rend les membres inutiles, et ceux-ci s'atrophient

par défaut d'usage; 2° les membres devenant trop courts pour appuyer sur le sol ou seulement pour imprimer au corps une vitesse suffisante, celui-ci prend une part active à la locomotion; l'accroissement de son activité détermine une intensité plus grande des phénomènes de nutrition qui, par tachygénèse, peut se manifester déjà dans la période de multiplication des segments du corps; le nombre de ceux-ci s'accroît alors, et le corps devient de plus en plus apte à pourvoir, par lui seul, aux déplacements de l'animal. Il semble bien que la première interprétation convienne aux animaux primitifs, chez qui la multiplication indéfinie des parties du corps est un signe de leur indépendance réciproque et une marque d'infériorité; c'est ce qu'on peut admettre pour les Myriapodes à corps très allongé, comme les Géophiles, et pour les Annélides errantes, telles que les Myrianides, les Phyllodoces, les Néréides, les Eunices, ou même les Naïs, etc. La seconde convient, au contraire, particulièrement aux Vertébrés, dont le nombre des segments du corps a été de bonne heure limité, et dont la locomotion s'est précocement accomplie à l'aide de membres dont on ne peut admettre l'insuffisance originelle. Les Vertébrés aquatiques, chez qui les ondulations du corps jouent facilement un rôle prépondérant dans la locomotion, sont particulièrement incités à ne pas user de leurs membres pour se mouvoir, et on constate justement, chez ceux qui sont nos contemporains, mais vivent dans des conditions particulières, cette atrophie des membres coïncidant avec une multiplication des segments du corps. Elle est manifeste chez le Protée de la grotte d'Adelsberg, dans la Carniole, dont les pattes de devant n'ont plus que trois doigts, et celles de derrière deux, qui garde ses branchies toute sa vie et qui, par tachygénèse, naît muni des quatre pattes de l'adulte (1). Elle s'accuse davantage chez les Sirènes lacertines qui gardent aussi leurs trois paires de branchies et n'ont plus que deux

(1) Marie de Chauvin, *Zeitschrift f. wissenschaftliche Zoologie*, t. XXXVIII, 1883, p. 671, et *Nature*, t. LX, p. 389.

courtes pattes de devant, munies de trois ou quatre doigts. Ce sont certainement d'anciennes salamandres terrestres, quadrupèdes, par conséquent, redevenues aquatiques ; elles ébauchent, en effet, la métamorphose normale des formes destinées à devenir terrestres en perdant les branchies qu'elles possèdent en naissant; ces branchies se régénèrent ensuite. L'atrophie des pattes postérieures peut être attribuée à l'allongement de la queue qui, chez un animal de 70 centimètres, a une longueur de 25 centimètres environ. Les Amphiumes, dont le corps est allongé mais la queue est courte, gardent au contraire leurs pattes postérieures aussi bien que les autres.

Un phénomène analogue, mais plus frappant encore, s'est produit chez d'autres batraciens qui sont apodes et vivent sous terre comme les lombrics ; ce sont ceux qui forment la famille de Cæciliidæ. On en connaît une quarantaine d'espèces réparties dans l'Inde, la Malaisie, l'Afrique tropicale, les Seychelles, l'Amérique du Sud, y compris Panama, c'est-à-dire dans des régions toutes comprises dans le continent de Gondwana du carbonifère. Ils étaient primitivement aquatiques, puisque leurs embryons acquièrent dans l'œuf de magnifiques branchies. Leurs caractères généraux les rapprochent des Stégocéphales de cette époque; certaines espèces ont même conservé des écailles cachées dans les plis segmentaires de leur peau (1). On peut dès lors se demander si ces batraciens vermiformes n'ont pas quelque parenté généalogique avec les Dolichosomes.

Les autres batraciens stégocéphales appartiennent à des types plus élevés. Leurs centres vertébraux sont d'abord formés de quatre paires de pièces dont les supérieures portent les arcs qui entourent la moelle épinière; ils sont alors *temnospondyles*. Ces quatre paires se réduisent déjà à trois pour les vertèbres du tronc chez les *Archegosaurus*, *Actinodon* et *Euchirosaurus*, où seules les vertèbres caudales conservent la

(1) *Ichthyophis, Hypogeophis, Dermophis, Cœcilia, Rhinatrema, Geotrypeles, Cryptopsophis, Gymnophis, Herpele.*

composition primitive. Les Batraciens deviennent *stéréospondyles* lorsque toutes ces pièces se soudent en une pièce unique en forme de sablier, à bases concaves. Ils n'avaient d'écailles, en général, que sur la face ventrale du corps, accusant ainsi l'influence des frottements sur le développement des pièces solides des téguments. On connaît plusieurs genres de Stégocéphales, tous de l'époque permienne. Ce n'étaient pas de très grands animaux; les plus grands, les *Sphenosaurus*, avaient environ deux mètres de long; l'*Archegosaurus de Decken*, du permien d'Allemagne, mesurait $1^{m},50$ de long; le *Chelydosaurus*, du permien de Bohême, environ 1 mètre; l'*Actinodon*, du permien d'Autun, si complètement reconstitué par Albert Gaudry, était un peu plus petit. Les *Euchirosaurus* de la même région en étaient voisins. Tous ces animaux avaient l'aspect général de petits crocodiles ou de grands lézards; mais on a pu constater que les jeunes des *Archegosaurus* avaient des arcs branchiaux. Les écailles du ventre des Chélydosaures formaient une quarantaine de chevrons très régulièrement et très élégamment disposés; le ventre des Actinodons n'était pas moins bien protégé. Quelques espèces, telles que le *Dinorophus multicinctus* du Texas, avaient une carapace liée à leur squelette vertébral comme celle des tortues, si bien que Cope les appelle des batraciens-tatous. Les Stéréospondyles sont représentés par des formes analogues, les *Loxomma,* du carbonifère supérieur d'Angleterre et du permien de Bohême. Ils constituent simplement une amorce qui se continuera dans le Trias, où la structure de leurs dents, marquées de plis sinueux, leur a valu le nom de Labyrinthodontes. Les Stégocéphales, temno- et stéréospondyles paraissent avoir appartenu à la population animale des continents Nord-Atlantiques.

Mais déjà à cette époque ont apparu les Reptiles vrais, dont les embryons n'ont plus que d'inutiles ébauches de branchies, et qui naissent uniquement pourvus d'un appareil de respiration aérienne. C'est durant la période du permien inférieur que ce

résultat semble avoir été atteint ; il aurait été d'abord réalisé en Amérique chez les *Eryops*, dont le crâne à lui seul avait six décimètres de long et quatre de large, et chez les *Cricotus*, qui avaient près de quatre mètres de long. Le corps des vertèbres était encore formé de trois paires de pièces séparées chez les premiers, tandis que chez les seconds les arcs nerveux étaient soudés aux pièces postérieures dites interventrales, et les basi-ventrales soudées entre elles, ce qui arrivait aussi dans le genre précédent. Ce dernier caractère marque la séparation entre les premiers Reptiles et les derniers Batraciens stégocéphales. Le passage est, pour ainsi dire, insensible entre les deux groupes (1).

Les Microsauriens étaient stéréospondyles; ils avaient des écailles dermiques aussi bien dorsales que ventrales et disposées sur le ventre comme celles des Stégocéphales; leur bassin, en grande partie cartilagineux, présentait seulement deux disques osseux largement séparés l'un de l'autre. Eux aussi ont été classés parmi les batraciens stégocéphales ; mais ils ont des pattes à cinq doigts, des chevrons mobiles à leurs vertèbres caudales, et leurs os iliaques s'articulent sur deux vertèbres au lieu d'une. Ce sont des caractères communs chez les Reptiles et, à défaut de renseignements embryogéniques, on ne peut faire dans ces groupes anciens que des séparations conventionnelles. Les Hylonomes du carbonifère de la Nouvelle-Écosse, leurs proches voisins, les *Hyloplesion* du permien supérieur de Bohême, qui n'avaient qu'un décimètre de long, les *Seeleyia* qui n'avaient

(1) Chez les Batraciens primitifs et les embryons des Batraciens actuels aux premières phases de leur développement, les vertèbres sont composées de deux pièces dorsales antérieures, les *basi-dorsales*; de deux pièces ventrales antérieures, les *basi-ventrales;* de deux pièces dorsales postérieures, les *inter-dorsales*; de deux pièces ventrales postérieures, les *inter-ventrales*. On *convient* de considérer comme des batraciens les animaux où ces pièces demeurent distinctes, au moins dans la région caudale, et ceux où, chaque moitié de vertèbre étant simplement tripartite, les inter-ventrales font défaut. Les formes où, la demi-vertèbre étant également tripartite, c'est l'inter-dorsale qui manque, sont classées parmi les Reptiles. C'est le cas des *Eryops* et des *Cricotus*.

que quatre centimètres, les *Melanerpeton*, les *Orthocosta* étaient des formes voisines, et chez les *Petrobates* l'armure ventrale avait une frappante ressemblance avec les côtes abdominales que nous allons trouver chez les Rhynchocéphales et qui existent aussi chez les Crocodiles.

Les Rhynchocéphales, issus des Microsauriens, sont probablement la souche d'où tous les autres Reptiles ont divergé. Leurs vertèbres stéréospondyles sont biconcaves, elles sont séparées par des intervalles et portent des chevrons caudaux ; leur os carré est fixé; ils ont des côtes abdominales formées de pièces disjointes, disposées en chevrons comme si, par un processus analogue à celui que nous avons déjà rencontré chez les Poissons, les os dermiques ventraux s'étaient seulement enfoncés dans la paroi de l'abdomen, mais ne présentent aucune ossification dermique superficielle; leurs dents sont implantées sur le bord tranchant des mâchoires et n'ont pas d'alvéoles. Un bassin semblable à celui des Microsauriens persiste encore chez les *Palæohatteria* des grès permiens de Saxe, et les *Protorosauriens* des calcaires magnésiens de Thuringe. C'étaient des lézards de 1^{m}, 50 de long environ, qui conduisent aux Rhynchocéphales vrais, à bassin entièrement ossifié, parmi lesquels viennent se ranger le *Callibrachion* reconstitué par Albert Gaudry et le *Sauravus Costei* décrit plus tard par Thévenin ; ce dernier provient du carbonifère supérieur de Blanzy. Un Rhynchocéphale protégé par des lois spéciales vit encore à la Nouvelle-Zélande : le *Sphenodon punctatum*, ou *Hatteria punctata*.

Tout ce monde des premiers reptiles est jusqu'ici bien modeste, même relativement à nos reptiles actuels. Mais l'effort de la vie durant la période primaire ne s'arrête pas là. Déjà se prépare l'apparition de reptiles monstrueux, d'origine inconnue, formant un ordre nouveau, celui des Thériodontes. Les *Pareiasaurus* se montrent tout à coup simultanément dans la région de la Dwina en Russie et au cap de Bonne-Espérance. Par quelle

voie inconnue ces êtres lourds et massifs ont-ils pu se frayer passage de l'une à l'autre de ces régions, faisant partie, la première du continent Nord-Atlantique, la seconde du continent de Gondwana que séparait, depuis la période dévonienne pour le moins, une mer tropicale ininterrompue? Faudrait-il faire remonter plus haut, jusqu'au silurien, l'origine des reptiles? C'est un problème dont la solution échappe encore.

Certes, au moment où se termine la période primaire, la vie s'est déjà prodigieusement développée sur le Globe; mais tout, dans ses œuvres, n'est encore qu'une ébauche de ce qui suivra, et la monotonie règne aussi bien dans la mer que sur la terre où se détachent sur le ciel, dans les brumes tièdes du Nord, les profils, déjà adoucis par une longue érosion, des montagnes huroniennes et calédoniennes, tandis qu'à de moindres latitudes, les jeunes chaînes hercyniennes, sous un soleil équatorial, présentent, plus hautes peut-être, les découpures profondes de nos Pyrénées et de nos Alpes.

Presque partout les vagues de la mer viennent butter sur des récifs construits par des polypes dont les formes indécises ne pouvaient égaler la radieuse floraison qui encercle de gemmes vivantes et mouvantes nos îles polynésiennes et nos continents tropicaux. Les Eponges, qui sèment partout, sur les roches de nos mers, leurs taches d'or, de lapis, de malachite, d'écarlate et les transforment en éblouissantes palettes, sont élégantes, mais incolores. Sur les récifs, dans le sable, dans la vase s'ébattent les gigantesques Ptérygotes, les Euryptères, les Limules, les Trilobites, d'abord confiantes et peu tourmentées, mais qui deviennent craintives dès le silurien, et apprennent à s'enrouler en boule à la moindre alerte. Des Vers de toutes sortes, de toutes formes, de toutes couleurs, ondulent parmi les récifs et sous les moindres roches; ils sont le plus bel ornement de la mer, et aussi la provende habituelle de tout ce qui se contente de chair menue : Mérostomés et Trilobites.

A peine remis des efforts qu'ils ont faits pour sauver leur vie

dans les fâcheuses conjonctures qu'ils ont traversées, les Échinodermes et les Mollusques n'ont pas encore trouvé leurs formes définitives. Très peu mobiles, les premiers se multiplient sur place; les Cystidés et les Blastoïdes poussent comme des bourgeons de pierre partout où ils peuvent se fixer. Quelques Encrines étalent une robuste corolle sur les rochers; les Etoiles de mer s'en nourrissent, faute de mollusques assez nombreux, et les Mélonites accumulent l'une sur l'autre, en bancs énormes, sur les plages, leurs sphères empourprées. Les Nautiles, les Pleurotomaires, les Troques, les Turbos, les Avicules ont des coquilles presque toutes faites de nacre brillante, qui plus tard se changera en porcelaine, mais elles n'ont acquis ni ces teintes brillantes, ni ces formes capricieuses en apparence, en réalité d'une géométrie savante, ni ces ornements, d'une fantaisie illassable dans ses inventions, par lesquels sous forme de cônes, de pyramides, de nacelles à proue enroulée en longue spire elles séduisent aujourd'hui nos yeux. Nourris seulement de tout ce menu fretin de Diatomées, de Radiolaires, d'Infusoires, de larves qui mettent de la monnaie de vie dans chaque vague, les premiers Mollusques gastéropodes flottent encore entre deux eaux, sans peine capturés par des requins contre lesquels les défend seule une prodigieuse fécondité. Tandis que d'étranges poissons déciment, au fond des eaux, le monde grouillant des Trilobites, il n'y a dans la mer aucun de ces poissons dont les bandes innombrables et rapides l'animent aujourd'hui.

Sur la terre un manteau de verdure s'étendait partout où le sol était suffisamment humide; mais il n'y avait pas de gazon, parce que notre gazon est fait de Graminées et que de longs siècles devaient s'écouler avant que les premières d'entre elles fussent élaborées. Le sol appartenait aux hépatiques, aux mousses, aux plus humbles des Lycopodes rampantes, aux Fougères herbacées, parmi lesquelles des Prêles dressaient leurs tiges annelées, sur lesquelles s'étageaient des cercles de frêles rameaux. Au-dessus de ces piètres prairies s'élevaient en colonnes ser-

rées les arbres fragiles, aux raides ramures, que formaient les Calamites et les Lépidodendrons. C'était là une végétation de terres humides. L'eau liquide est, en effet, nécessaire à la fécondation de ces plantes; leurs anthérozoïdes ne se meuvent que dans les gouttes de pluie ou de rosée, et l'on peut dire d'elles qu'elles sont aux plantes supérieures ce que sont les Batraciens aux Vertébrés terrestres. Elles étaient peu propres à couvrir les pentes des montagnes; mais la tachygénèse supprime peu à peu leur mode compliqué de reproduction; les microspores, devenues grains de pollen (1), acquièrent le pouvoir fécondant; le vent suffit à les transporter sur les ovules. Dès lors les Cordaïtées peuvent couvrir le sol d'une forêt de roseaux, les conifères gravissent les pentes des montagnes, les Cycadées étendent dans les vallées abritées leurs vastes panaches que les rafales des ouragans emporteraient, et partout où peuvent pénétrer des racines, des plantes couvrent le sol d'une végétation qui, durant la période carbonifère, devient d'une puissance inouïe. Elle est faite de végétaux fragiles que la puissance du vent a dû souvent ébrancher, briser, déraciner. Les débris de ceux qui poussaient dans les régions marécageuses, au bord des étangs, se sont accumulés sur place, et protégés par les matériaux apportés par les inondations, ou par la vase déposée par les eaux à leur surface, nous ont été conservés. Ceux qui poussaient sur les flancs des vallées, loin de la mer, comme dans le Plateau central, ont été emportés par les torrents dans des lacs d'eau douce qu'ils ont comblés peu à peu et l'on reconnaît encore dans les couches qu'ils ont formées les apports successifs de ces torrents à chacune de leur crue. D'autres enfin ont été charriés jusqu'à la mer par les grands fleuves, comme le fait de nos jours le Mississipi. Et ce travail se continuant pendant des siècles, au cours desquels la configuration du sol changeant à peine, les cours d'eau gardaient le même lit, peu à peu se

(1) P. 227.

sont formées ces accumulations prodigieuses de troncs, de branches, de feuilles, d'herbes même auxquelles nous devons les couches de houille qui alimentent notre industrie.

Mais pendant que se préparait ainsi la folle activité qui nous dévore aujourd'hui, la nature était sévère et silencieuse. Aucune fleur ne venait égayer des fraîches couleurs de sa corolle la sombre monotonie du vert, à peine nuancé, des plantes dont le feuillage, en l'absence de toute saison, était nécessairement persistant. Elles poussaient dans un désordre inextricable, sans trêve, sans arrêt, toujours avec la même vigueur. Sous un soleil plus chaud, à une température presque constante, dans une atmosphère humide, la production de matière végétale, dans un temps donné, devait être plus grande qu'à notre époque où le froid et la sécheresse interrompent, à intervalles réguliers, sa formation. C'est une des raisons pour lesquelles les couches de houille sont demeurées si puissantes, bien que déjà, comme l'a montré M. Bernard Renaud, les microbes destructeurs de la cellulose dont sont faits les tissus solides des végétaux, eussent commencé à la façon du *Bacillus amylobacter* actuel, leur œuvre d'anéantissement. Cette luxuriante végétation n'était pas seulement rendue particulièrement morne par l'uniformité de son vert. Parmi la mousse et sur les troncs rampaient seulement des Mille-pieds, poursuivis par des Scorpions; de vagues Araignées, de ternes Insectes : Termites, Blattes ou Phasmes, se hâtaient vers leurs refuges, et, dans ce monde, de lentes Salamandres cuirassées apparaissaient comme des géants. L'air était presque vide : ses plus alertes habitants étaient les Ephémères, les Fourmilions, les Libellules; point d'Abeilles, point de Papillons, point d'Oiseaux. Nulle voix ne chantait la joie de vivre, ne lançait un appel d'amour, ne poussait même un cri de frayeur. Il n'y avait pas une intelligence que les explosions des volcans, les éclats de la foudre, ou les grondements des tremblements de terre pussent effrayer. La vie manifestement s'essayait, elle ne devait s'épanouir que dans la période où nous allons entrer.

CHAPITRE II

LA VIE DURANT L'ÈRE SECONDAIRE

L'ère secondaire est l'ère de tous les épanouissements.

Pendant la période anthracolithique toute l'Europe a été lentement mais profondément bouleversée par les plissements hercyniens, courant suivant deux directions principales: l'une du nord-ouest au sud-est, l'autre du sud-ouest au nord-est, et se croisant à angle aigu dans le Plateau central. Des mouvements analogues se sont produits dans le nord de l'Afrique, dans la région de l'Altaï, du nord de la Chine en Asie, dans la région des montagnes Rocheuses de l'Amérique du Nord, dans celle de la Bolivie et du bassin de l'Amazone pour l'Amérique du Sud. Dans toutes ces régions, les profondes vallées où s'accumulaient des dépôts jusqu'à l'époque dinantienne se soulèvent, et c'est aux montagnes ainsi formées que le nom de chaîne Hercynienne a été attribué.

Au début de l'ère secondaire, durant la période triasique, des éruptions volcaniques, conséquences de ces soulèvements, se produisent encore dans le Tyrol, dans les Pyrénées, en Espagne, au Portugal, au Maroc, sur tout le pourtour du Pacifique, notamment dans la Colombie britannique où les déjections volcaniques se retrouvent sur de vastes étendues, parfois avec une épaisseur de 4000 mètres, et encore à la Nouvelle-Calédonie, à la Nouvelle-Zélande, etc. Mais bientôt tout se calme, et jusqu'au moment où commencera la surrection des Pyrénées, c'est-à-dire durant quatre millions d'années pour le moins, une tranquillité presque absolue régnera sur la Terre. Sans doute le sol ne demeure pas absolument immobile. Comme il l'a toujours fait, comme il le

fait encore de nos jours, même sur notre littoral, il s'abaisse ou s'élève lentement, par places, de sorte que la mer envahit une certaine étendue de côtes, au nord et à l'est de l'Afrique par exemple, forme des golfes dans les régions du Jura ou des Alpes, pénètre même au cœur des parties basses des continents qu'elle couvre d'une faible épaisseur d'eau, isolant notamment, durant la période jurassique, la Scandinavie et la Finlande du reste de la Russie. Ces mouvements s'accentuent, durant la période crétacée au point qu'un pli profond, envahi par la mer, traverse, de l'est à l'ouest, l'Europe divisée en archipels, et que le continent nord-américain est coupé en deux du nord au sud, ainsi que l'Afrique dont la région occidentale actuellement saillante est séparée du reste; c'est le moment de ce qu'on appelle la transgression de la craie. Ailleurs, au contraire, la mer se retire, laissant derrière elle des lagunes qui se dessèchent, et marquent leur place par les dépôts de sel qu'elles abandonnent, tandis que des sommets émergeant des eaux forment des îles et des archipels temporaires. Ainsi des communications nouvelles s'établissent entre diverses parties des mers, tandis que des communications anciennes se ferment. Des faunes jusque-là séparées se mêlent; d'autres s'isolent et chacune suit, dès lors, une évolution particulière. Une variété plus grande en résulte dans le monde de la mer, où l'on voit souvent des espèces méridionales s'avancer vers le nord à la faveur des courants qui traversent les détroits nouveaux, tandis que des espèces septentrionales s'avancent vers le sud, sans qu'on puisse conclure d'une manière absolue à des variations persistantes de la température moyenne. Mais tout cela est de faible importance et ne trouble en rien le calme universel.

La transition entre l'état de choses de l'ère primaire et celui qui va s'ouvrir se fait d'ailleurs graduellement. Durant toute la période triasique la végétation ne diffère que par le détail des genres et des espèces de celle de l'ère primaire ; elle ne semble

même pas, au premier abord, au moins par ce que nous en connaissons actuellement, se modifier beaucoup durant la période jurassique qui suit. Il est probable cependant que c'est durant cette époque que les feuilles fertiles femelles, demeurées ouvertes chez les Gymnospermes, se sont enroulées chez un certain nombre d'entre elles, et fermées autour de leurs ovules, pour les protéger; alors un pas décisif a été accompli dans le règne végétal: la réalisation des plantes angiospermes. Elles se montrent effectivement nombreuses et variées dès le début de la période crétacée, et justement ce sont les familles indiquées par la théorie précédemment exposée (page 123) qui apparaissent les premières. Les Dicotylédones dominent de beaucoup, et parmi elles ce sont d'abord, comme il convient, les plantes à chatons: peupliers, saules, bouleaux, hêtres, chênes, noyers, *Myrica*, et avec eux leurs voisins, les platanes, les liquidambars, puis les érables, les eucalyptus, les lauriers, à nombreuses étamines avec traces de ramifications, les myrtacées à étamines ramifiées. Il s'y mêle aussi quelques plantes à fleurs isomères et même à ovaire infère, comme les lierres et les cornouillers, des Gamopétales, comme les viornes et les lauriers-roses, et déjà les Monocotylédones s'affirment par plusieurs familles à grandes fleurs: des liliacées, des alismacées, des pandanées, des palmiers et même des aroïdées. Il ne faut pas oublier qu'une fois détachées des Dicotylédones isomères, les Monocotylédones ont dû se développer parallèlement et même très rapidement, puisqu'elles ne pouvaient plus se modifier que dans le détail.

Tout indique qu'à cette époque le climat était très doux. Il y avait bien des saisons (p. 59) dans les régions voisines des pôles; mais partout ailleurs la température demeurait pratiquement uniforme. Il n'y avait pas de périodes annuelles de gelées capables d'entraver la vie, pas de saison d'engourdissement ou de mort, et dans les régions polaires elles-mêmes, si les palmiers font défaut on trouve au Groënland l'Arbre à pain, aujour-

d'hui uniquement tropical. Sur la côte occidentale, se succèdent trois flores d'une extrême richesse, attestant cependant un refroidissement graduel, car de l'une à l'autre les cycadées tropicales disparaissent et les plantes dicotylédones prennent une importance de plus en plus grande. La Tèthys, la grande mer Mésogée de M. Douvillé, la Méditerranée centrale de Neumayer, réchauffée par un double apport d'eaux venant de la zone torride, entretenait sur ses deux rives une température à peu près constante, bien supérieure à celle de la Côte d'Azur. Les deux bras entre lesquels elle enserrait le continent Nord-Atlantique adoucissaient son climat, et les autres continents étaient aussi bien partagés : tous étaient enveloppés d'une sorte de gulf-stream. Les madrépores élevaient leurs constructions tout le long des côtes jusqu'à la latitude de l'Écosse. C'étaient des Madrépores tout semblables, cette fois, à ceux de la période actuelle, des Hexacoralliaires très voisins de ceux qui forment actuellement les *récifs-frangeants* de la mer Rouge et de la Nouvelle-Calédonie, les *récifs-barrière* de la côte nord-ouest de l'Australie et de l'archipel des Fidji, les *atolls*, ces étonnantes îles annulaires du Pacifique ; or on sait que les polypes cessent d'édifier dans les eaux dont la température est susceptible de s'abaisser au-dessous de 25°. Leur abondance est telle que leurs restes ont constitué de vastes formations calcaires qui ont valu à une des subdivisions de la période jurassique le nom d'*époque corallienne*. Les *calcaires oolithiques*, qui jouent un si grand rôle à cette époque, ne sont pas autre chose que le résultat de la précipitation, autour de toutes sortes de débris, de la fine poussière calcaire qui demeure en suspension dans l'eau lorsque des branches de polypiers, brisées par quelque choc, sont demeurées longtemps le jouet des vagues. Ils ont donné leur nom à l'une des deux grandes subdivisions du système jurassique.

Dans ces mers encerclées de Madrépores s'ébattait tout un monde d'Invertébrés nouveaux qui se laissaient emporter par les

vagues où abondaient d'élégants radiolaires (1), couvraient les rochers d'une abondante floraison animale faite d'éponges siliceuses ou calcaires de toutes sortes (2), de polypes, de ces crinoïdes si semblables par leur forme à des plantes, qu'on les appelle couramment des « Lis de mer » quand ils ont l'air de fleurs vivantes, fixées au fond de la mer par leur pédoncule, des Palmiers marins quand ils étalent au sommet d'une tige qui peut atteindre dix-sept mètres de long leur panache de bras semblables à des feuilles de dattier, comme le font les Pentacrines dont il existe encore de vertes prairies vivantes, au large de Rochefort. A ce moment certains de ces derniers se détachent de leur tige et donnent naissance aux formes libres modernes, les *Eudiocrinus* à cinq bras, réfugiés dans les profondeurs du Pacifique et de l'Atlantique ; les Comatules qui en ont dix semblables à des plumes couleur de rose et nagent nonchalamment en les faisant alternativement onduler ; les Actinomètres qui ramifient indéfiniment ces dix bras primitifs, et habitent les mers chaudes. Sur de brillants récifs, semblables à ceux dont Saville Kent a décrit l'incomparable beauté, d'innombrables mollusques traînent leurs coquilles dont la variété est devenue infinie, car aux formes surbaissées et à bouche arrondie sont venues s'ajouter les Scalaires et les Turritelles à longue coquille, aux tours d'hélice nombreux, les Natices et les Porcelaines à coquille renflée et polie, les grands Strombes à longue ouverture évasée, de nombreuses formes de Gastéropodes carnassiers à coquille échancrée ou prolongée en canal : Cérithes, Fuseaux, etc.

C'est aussi le moment où se multiplient les Gastéropodes hermaphrodites : les Escargots et les Limaces qui vivent à terre, les Limnées et les Physes qui se confineront dans les eaux douces, les Bulles qui ouvrent la série des mollusques marins chez qui on peut suivre actuellement la disparition graduelle de la coquille, les Actéons qui sont les moins modifiés des Mollusques

(1) Spumellaires et Nassulaires. — (2) Hexactinellidées, Tétractinellidées, Lithistidées, Monactinellidées, Pharetrones et autres éponges calcaires.

opisthobranches, eux-mêmes ancêtres probables des Ptéropodes de haute mer qui volent dans l'eau à l'aide de deux larges ailes, dépendances de leur pied, comme les papillons volent dans l'air.

Les Mollusques à coquille bivalve ne sont pas moins en progrès que les Gastéropodes. Durant la période jurassique la plupart des familles actuellement vivantes se sont jointes à celles que nous connaissions déjà; elles ne sont même pas les seules, et nous n'avons rien dans nos mers qui puisse être comparé aux *Diceras*, dont les deux valves en forme de cornes de bœuf étaient affrontées l'une contre l'autre par leur base, aux *Requienia* où l'une de ces cornes persistait seule, l'autre étant réduite à un simple opercule fermant l'orifice de la première; aux Rudistes dont la grande valve prenait un développement, et, en même temps, une texture si déconcertante qu'on s'est demandé s'il ne fallait pas voir en eux des polypiers operculés, comme les *Calceola sandalina* des terrains dévoniens. On les considère aujourd'hui comme apparentés à de modestes bivalves actuels, les Chames dont une des valves, très épaisse, est attachée aux rochers comme celle des Huîtres et dont l'autre est mobile; la forte charnière qui unit ces deux valves rappelle, en effet, celle qui unit les deux valves des Rudistes. Parmi les Lamellibranches vivants, les seuls où la valve par laquelle l'animal se fixe prenne un développement qui rappelle celui des Rudistes, sont les Éthéries, qu'on rencontre seulement dans les rapides des fleuves de l'Afrique centrale. M. le Dr Anthony pense que le développement exagéré de cette valve tient à l'action continue du courant d'eau violent auquel elle est soumise. Il suppose que les Rudistes vivaient dans des régions où ils avaient à subir de la part des vagues de terribles assauts. Ils constituaient, pour les continents, un appareil de défense, comme les récifs de coraux eux-mêmes qu'ils remplacent sur beaucoup de points.

Durant toute la période crétacée les Madrépores reculent

peu à peu vers le sud, comme si la température éprouvait un refroidissement continu. Les régions polaires jouissent d'un climat relativement tempéré, mais le midi de la France et l'Europe méridionale n'en gardent pas moins un climat tropical, attesté par la formation sur certains points de minéraux latéritiques qui ne peuvent prendre naissance que sous l'action d'une intense radiation solaire. M. Douvillé a signalé partout où il y a des bancs de Rudistes de grands Foraminifères circulaires, les Orbitolites, qui ne vivent que dans les mers chaudes où le calcaire abonde. Ils présagent l'arrivée prochaine des Nummulites, qui joueront un si grand rôle dans les mers de la période éogène.

On ne peut manquer d'être frappé des modifications qui se sont produites dans les mœurs des animaux au cours de la période jurassique. Durant la période précédente, presque tous les Gastéropodes avaient une coquille à ouverture entière; ces Gastéropodes ne vivaient que de matières végétales, et les mollusques pulmonés, à ouverture de la coquille également entière, qui ont envahi la terre ferme et les eaux douces, sont aussi presque tous des mollusques exclusivement végétariens. C'est seulement à la période secondaire qu'apparaissent les Gastéropodes carnassiers chez qui l'ouverture de la coquille est échancrée ou prolongée en canal. Cette correspondance entre le régime et la forme de l'ouverture de la coquille n'est pas un simple effet du hasard. Les mollusques carnassiers sont guidés vers leur proie par l'odorat. Dès qu'un cadavre tombe à l'eau, on voit les Nasses accourir de toutes parts. Or l'organe olfactif des Mollusques gastéropodes, l'*osphradie* ou fausse branchie, est situé dans la cavité branchiale auprès de la vraie branchie. Un tube ou siphon qui est formé par le prolongement du toit charnu de la chambre branchiale conduit l'eau dans cette chambre, et la jette à la fois sur l'osphradie et sur la branchie dont les fonctions sont ainsi régularisées ; ce siphon est logé dans l'échancrure ou dans le canal de l'ouverture de la coquille, et l'on com-

prend qu'il se soit graduellement allongé en raison des tentatives de l'animal pour capter le plus complètement possible les effluves odorants qui lui arrivaient.

Est-ce en raison du grand nombre de ces animaux d'attaque que certains Lamellibranches ont adopté la vie de réclusion qu'ils mènent? Ce serait prêter beaucoup d'esprit à des animaux dont les sens sont rudimentaires, que d'imaginer qu'ils y ont mis une intention. Il y a là cependant un fait indéniable : durant la période primaire abondent surtout des Lamellibranches qui demeurent couchés sur le sol, rampent à l'aide d'un pied assez semblable à celui des Gastéropodes ou se suspendent à un byssus; au cours de la période secondaire se multiplient les Lamellibranches qui s'enfoncent dans le sable, la vase, ou même le calcaire, et qui ne demeurent en communication avec l'extérieur que par l'intermédiaire de deux longs tubes, les siphons, situés à la partie postérieure du corps et dont l'un conduit l'eau sur les branchies, qui la dirigent vers la bouche, tandis que l'autre rejette l'eau dépouillée d'oxygène et de particules alimentaires, qui entraîne avec elle toutes les déjections.

Ce changement de mœurs, et c'est là un fait qui appelle la réflexion, n'est pas spécial aux Lamellibranches, il s'est produit également chez les Oursins. Les Oursins de l'ère primaire, sans choisir une direction de prédilection, rampaient parmi les algues ou parmi les rochers. Le test des plus récents était divisé en dix fuseaux et portait des piquants volumineux. Ils se sont conservés jusqu'à l'époque actuelle, mais il s'y est ajouté des espèces fouisseuses, couvertes d'une toison de fins piquants et creusant, dans le sable, leur chemin dans une direction déterminée. Chez ces espèces, toujours pressées contre le sol qui les recouvrait, le test s'est aplati autour de la bouche, constituant ainsi une véritable face ventrale; les ambulacres ont pris, sur cette face, un aspect tout différent de ceux de la face dorsale, leurs tubes ayant seuls désormais un rôle dans la locomotion; les déjections ne pouvant plus facilement être évacuées

par le sommet du test enfoui sous le sol, l'anus a quitté ce sommet, est descendu au voisinage de la face ventrale, caractérisant ainsi une région postérieure du corps, opposée à celle que l'animal porte en avant lorsqu'il fouit. Ainsi s'est superposée à la symétrie radiée primitive, une symétrie bilatérale très nette (p. 150 et 176). La bouche est d'abord demeurée au milieu de la face ventrale et a conservé, seulement un peu amoindri, l'appareil de mâchoires des oursins primitifs; c'est le cas des Clypéastridés. Plus tard la bouche s'est transportée tout près du bord antérieur de la face ventrale; sa lèvre postérieure s'est avancée en cuilleron capable de s'enfoncer dans le sable vaseux et d'assurer son entrée dans la bouche de l'oursin; les mâchoires inutiles ont alors disparu; c'est le cas des Spatangidés. Entre les oursins ordinaires et ceux-ci, on trouve pendant l'ère secondaire tous les passages, et ces animaux sont si abondants dans certaines couches qu'ils ont servi à les caractériser. Les oursins fouisseurs avalent de la vase et ce genre d'alimentation entre, pour sa part, dans le choix de leur habitat; mais n'est-il pas lui-même une conséquence de leur souci de sécurité?

Parmi les Lamellibranches, les *Cardium* labourent le sol comme s'ils y cherchaient de la nourriture; ils peuvent servir de point de départ pour expliquer la formation des siphons, chez ceux qui ne font, comme les *Solen* ou Couteaux, que monter et descendre dans un trou vertical, se nourrissant de particules flottantes apportées par l'eau, et qu'ils n'ont pas à chercher; on ne peut voir dans le fait de leur habitat souterrain que le besoin de sécurité. Le fait est évident pour les Pholades qui perforent le calcaire dont elles ne sauraient se nourrir et pour les Tarets qui vivent dans le bois. Si ces animaux ont été ainsi amenés à vivre en reclus, on peut supposer que ceux des congénères de leurs ancêtres qui n'ont pas adopté ce genre de vie, ont été détruits : c'est une conséquence de la lutte pour la vie à laquelle tant d'animaux n'ont pu survivre qu'à la condition de se trouver en mesure de l'éviter, soit involontairement, soit volontairement.

Cette multitude bigarrée d'Invertébrés était dominée par d'innombrables Mollusques nageurs : les Ammonites, voguant parmi les flots, assises pour ainsi dire dans des coquilles enroulées en spirale comme les cornes de Jupiter Ammon, divisées en loges dont nous avons précédemment expliqué l'origine et dont nous avons indiqué la complication graduelle pendant toute la période jurassique. A quoi tient cette complication qui ne s'est jamais produite chez les nautiles? Si l'on admet l'assimilation qu'a faite Munier-Chalmas des Céphalopodes à cloisons simples avec les Nautiles, de ceux dont les cloisons sont plissées avec les Spirules, une remarque s'impose naturellement à l'esprit. Les premiers devaient avoir, pour le moins, deux paires de branchies, les seconds n'en avaient qu'une, par suite peut-être d'un raccourcissement du corps en rapport seulement avec le monde extérieur par son extrémité antérieure, et qui aurait éprouvé une sorte de céphalisation (1). Dans ces conditions, le manteau, en augmentant sa surface par des plissements, a pu suppléer la deuxième paire de branchies absente ; les plis se sont compliqués à mesure que le céphalopode devenait plus actif et sa taille possible plus considérable ; certaines Ammonites sont arrivées à approcher d'un mètre de diamètre. Elles se tenaient évidemment soit près de la surface, soit entre deux eaux, et on comprend ainsi comment ont été possibles les transformations qu'elles ont présentées durant la période crétacée. Le dernier tour de la coquille s'est d'abord détaché des autres, comme s'il pendait dans l'eau au-dessous du reste de la coquille servant de ludion; puis il s'est recourbé vers le haut en C, comme si la bouche de l'animal, dirigée vers le bas, s'était ensuite dirigée vers le haut. Ce changement d'orientation de la bouche n'est peut-être du reste qu'une apparence ; on peut admettre en effet que la coquille, à ouverture d'abord dirigée vers le haut comme chez les autres Ammonites, s'est au contraire

(1) Voir page 259 et 260.

orientée de manière à maintenir autant que possible, la bouche dans la même direction chaque fois qu'un déplacement du centre de gravité résultant de la croissance du Mollusque et de celle des loges pleines d'air de la coquille a amené un renversement dans le complexe constitué par l'animal et sa coquille. Le déroulement une fois commencé continue ; il finit par se produire dès le début de la formation de la coquille, et l'on passe ainsi du type des *Scaphites* et des *Crioceras* à celui des *Pictetia* ; la coquille de ces dernières avait la forme d'un C, dont le crochet supérieur se serait enroulé en spirale. Chez les *Hamites* les tours ne sont même plus spiraux mais formés de parties courbées à angle droit les uns sur les autres ; enfin, chez les *Baculites* la partie droite est si longue par rapport à la partie enroulée qu'on croirait revenir aux Orthocères. L'organisation des Ammonites subit d'ailleurs elle-même une sorte de dégénérescence. Les plis du manteau, que traduisent les sinuosités des lignes de suture, se simplifient si bien qu'il semble qu'on revienne aux Cératites du trias, ou même aux Goniatites de l'ère primaire. C'est ainsi sans doute qu'on descend peu à peu jusqu'aux modestes Spirules de l'époque actuelle, à coquille interne déroulée et à cloisons simples.

Les Turrilites, qui sont contournées en hélice au lieu d'être enroulées en spirale, et qui sont, par conséquent, dissymétriques, ne pourraient s'être produites si l'animal était demeuré flottant ou nageant dans un milieu homogène, tel que l'eau. La torsion qu'elles ont subie doit être due aux mêmes causes que celles des Gastéropodes et indique l'existence d'un groupe d'Ammonites rampantes.

Pourquoi ces superbes animaux, qui ont été pendant une si longue période les rois de la mer, et nous ont été conservés en si grand nombre qu'on peut suivre toutes les variations éprouvées par leurs coquilles, et dresser souvent leur arbre généalogique d'une manière assez complète pour que leur histoire puisse être considérée comme une irréfutable démonstration,

par les faits, de la réalité de la mutation des formes vivantes, pourquoi des êtres aussi puissants et aussi plastiques ont-ils disparu ? Faut-il penser que les Ammonites avaient une nourriture très spéciale qui, à un certain moment, leur aurait fait défaut ? Mais la paléontologie nous aurait donné tout au moins quelques indications à cet égard, et nous n'en avons aucune. Faut-il penser que des formes nouvelles d'animaux carnassiers plus actifs se sont multipliées dans les mers et en ont fait un tel carnage qu'elles ont été anéanties ? Nous verrons tout à l'heure que cela n'est pas impossible. Mais à côté de cette solution, la simplification manifeste des formes, les altérations profondes de certaines d'entre elles, semblent indiquer que le milieu dans lequel ces beaux mollusques ont prospéré et se sont graduellement compliqués s'est modifié, que leur organisme ne s'est pas trouvé assez souple pour s'adapter à ces conditions nouvelles. Pour des animaux marins il ne saurait guère être question que d'un abaissement de la température, car un épuisement spontané d'un type organique, dans un milieu qui ne varie pas, est chose tout à fait improbable.

Les seuls mollusques qui disparaissent avec les Ammonites sont les Bélemnites qui étaient, elles aussi, des Céphalopodes dibranchiaux extrêmement abondants. Leur coquille conique, courte, droite, cloisonnée, se terminait en avant par une sorte de bouclier en forme de large cuiller concave vers le bas, et en arrière par une pointe calcaire de la forme et de la dimension d'un cigare. On en a trouvé des empreintes tellement complètes que toutes leurs parties molles sont facilement reconnaissables ; leur poche à encre a été si bien conservée qu'on a pu l'employer, en broyant dans l'eau son contenu, à faire des dessins au lavis. Ces animaux étaient tout à fait voisins de nos Calmars. Ils devaient nager plus agilement que les Ammonites, empêtrées dans leur coquille, et leur donner volontiers la chasse ; mais la part importante dans la destruction des unes et des autres revient probablement aux poissons.

Nous sommes effectivement à l'époque où les poissons osseux

viennent s'ajouter à ceux dont le squelette n'est encore fait que de cartilages. Ces nouveaux venus, issus sans aucun doute des poissons ganoïdes qui se sont beaucoup multipliés pendant la période jurassique, se réduisent durant cette dernière période à la famille des Leptolépidés, mais ils deviennent ensuite très variés. La plupart ont d'abord naturellement des nageoires pectorales et ventrales écartées comme celles des Requins et des Ganoïdes ; on en compte une quinzaine de familles dont beaucoup sont spéciales, mais parmi lesquelles on remarque des familles encore en pleine prospérité : des Scopélidés, qui sont actuellement pélagiques et ressemblent à des saumons ; des Clupéidés, très voisins de nos sardines et de nos harengs (1) ; des Halosauridés, qui sont des poissons de fond ; des Ostéoglossidés, et même des Murénidés qui ont perdu leurs nageoires (2). Les poissons à nageoires ventrales rapprochées des pectorales se montrent aussi ; ils sont représentés par la famille des Bérycidés qui compte encore des représentants.

C'est donc une faune déjà importante composée de poissons agiles, à qui leur taille très modérée permet de pénétrer partout ; ils ont dû créer des conditions d'existence plus difficiles aux Ammonites à qui ils ont fait, non pas seulement la chasse, mais une vaste concurrence alimentaire, dont il faut tenir compte si on veut s'expliquer la disparition des grands mollusques nageurs. Ceux qui vivaient dans des conditions spéciales, suspendus par exemple entre deux eaux, loin de la surface, comme les Ammonites courbées en C de la période crétacée, ont persisté plus longtemps que les autres, parce que la zone relativement pauvre en gros gibier où ils se tenaient était peu fréquentée des poissons.

Tournons maintenant nos yeux vers la terre. Durant les périodes triasique et jurassique persiste encore, à peu de chose près, la sombre et monotone végétation de l'ère primaire ; mais

(1) *Diplomistus, Scombroclupea.* — (2) *Urenchelys.*

au crétacé les campagnes s'égayent de toutes les nuances des feuillages naissants et de l'éclat des fleurs. Nos arbres dressent d'abord timidement leurs troncs capricieusement branchus parmi les baliveaux sévères des antiques conifères ; mais ils finissent par les refouler hors des plaines où se pressent les peupliers, les saules, les boulaux, les hêtres, les chênes, les noyers, les platanes, les érables, premiers rameaux de l'arbre généalogique théoriquement dressé plus haut. Le sol se couvre de vastes forêts où pousseront aussi des figuiers, des arbres à pain et autres urticées à fleurs unisexuées. Des houx, des lierres, des cornouillers croissent à leur abri, et même quelques gamopétales comme les viornes et les lauriers-roses. Et si nous ne pouvons ajouter à cette liste une longue série de fleurs brillantes, c'est que les belles fleurs ne poussent guère sur les grands arbres et que les tiges délicates des arbrisseaux ou des plantes herbacées qui les portent se fossilisent mal.

Toute cette végétation nouvelle devait avoir un retentissement sur le monde gracieux et agile des Insectes qui en vit. A part quelques hémiptères, qui plongeaient leur bec acéré dans les jeunes branches et en humaient le suc, la période primaire n'avait guère connu que des insectes vivant d'aliments solides qu'ils broyaient à l'aide d'une puissante armature buccale. Mais les prairies nouvelles avec leur floraison, les futaies avec leur tendre feuillage vont fournir aux remuants Insectes mille occasions nouvelles d'exercer leur activité. De la miellée va perler sur les feuilles, du nectar s'élaborer au fond des corolles ; c'est une nourriture délicate et presque divine pour des créatures aériennes. Les mandibules tranchantes, les mâchoires armées de mors comme des pinces, sont inutiles pour aspirer une pareille ambroisie ; elles vont s'allonger, s'amollir, s'affiner, avorter en partie ; elles deviendront les lames de soutien de la langue flexible des abeilles, la trompe des papillons ou la pompe aspirante des mouches ; aux lourds insectes de l'ère primaire vont s'annexer une foule d'êtres délicats, au vol rapide,

parmi lesquels quelques-uns, par l'éclat de leurs couleurs, éclipseront les fleurs sur lesquels ils iront butiner. Pour la première fois la terre se pare vraiment des couleurs féeriques que nous admirons dans les régions tropicales ; pour la première fois elle connaît le fourmillement des êtres à sa surface ; pour la première fois l'air se peuple. Pour tout ce menu monde, aujourd'hui si fragile, les conditions éminemment favorables de l'ère primaire ont été conservées. Nulle part la température ne descend assez bas pour tuer, d'un seul coup, tous les insectes d'une même région. Comme les animaux supérieurs, ils meurent isolément et la durée de leur vie n'est abrégée que par des accidents. Cette durée leur permet d'observer, d'acquérir de l'expérience et d'en pratiquer les enseignements. Les générations se mêlent. Les parents connaissent leur progéniture, peuvent vivre avec elle, lui donner des soins, l'approvisionner de nourriture aussi longtemps qu'elle est incapable de le faire elle-même, tout au moins la placer dans des conditions telles qu'elle trouvera toujours des aliments à sa portée jusqu'à l'âge où elle sera en état de procéder à leur recherche ; ils ont aussi le loisir de procéder à une sorte d'éducation des jeunes. Ceux-ci d'autre part, perpétuellement en contact avec eux, imitent leurs actes, s'initient de la sorte à la vie, profitent de l'expérience acquise qui se transmet de génération en génération.

Leur activité se limitait d'abord à un petit nombre d'actes, très simples, en partie de la nature de ceux qui constituent ce que les botanistes ont depuis longtemps appelé des tactismes, inconscients par conséquent ; ces actes ont été remplacés par des actes plus ou moins conscients à mesure que l'organisme se perfectionnait, mais ces actes toujours les mêmes, inspirés par les mêmes circonstances, ont fini eux aussi par devenir automatiques, comme ceux qui sont liés à des habitudes, comme ceux que l'on accomplit inconsciemment dans l'état de sommeil, comme ceux qui relèvent simplement des tactismes, comme ceux auxquels Claude Bernard a donné le nom d'actes

réflexes et qui, même chez nous, s'accomplissent sans que notre volonté intervienne, sans que notre conscience les enregistre : le clignement de nos yeux quand un rayon de soleil vient brusquement les frapper; le mouvement de défense de nos bras lorsque notre visage est menacé d'un coup; les contractions musculaires qui interviennent dans la marche ou la natation. Dans ces conditions, le menu cerveau des Insectes, constamment sollicité par les mêmes influences, mis en action par l'accomplissement des mêmes actes, a pris peu à peu une organisation appropriée qui s'est transmise par hérédité, de sorte qu'il a suffi dès lors de la moindre sollicitation extérieure pour déclencher toute une série d'actes merveilleusement enchaînés, se succédant dans un ordre déterminé, alors même que venait à être supprimé le but vers lequel ils tendaient. A ce moment a été créé ce qu'on nomme l'*instinct* (1).

Sans doute la théorie que nous venons d'exposer suppose au début l'intervention d'une intelligence analogue à celle que nous voyons de nos jours, par exemple, se mêler de toutes les façons à l'automatisme chez les Oiseaux, qui vivent avec leurs petits dans des conditions semblables à celles où, durant la période crétacée, les Insectes vivaient avec leurs larves, et l'on peut s'étonner que ces êtres fragiles aient pu jouir d'une telle intelligence. Elle existe cependant et fonctionne aujourd'hui, précisément comme nous venons de l'indiquer, chez tous les insectes sociaux, les Termites, les Guêpes, les Bourdons, les Abeilles et les Fourmis, et l'on est bien obligé de s'incliner devant les faits. Darwin, qui a magistralement étudié

(1) J'ai développé cette théorie des instincts en 1881, dans un livre scolaire intitulé *Anatomie et physiologie animales*, écrit pour la classe de philosophie des lycées; presque en même temps, quoique un peu plus tard, elle a été développée, en Angleterre, par Romanes, gendre de Darwin, dans son ouvrage sur l'intelligence et l'instinct des animaux, pour la traduction française duquel j'ai écrit une préface (1883); mais à ce moment nous avons été arrêtés tous deux par la difficulté d'expliquer la transmission des instincts chez les Insectes d'une génération à la suivante, ces deux générations ne se connaissant pas.

ce qu'on nomme l'*instinct* chez les Oiseaux, où ce nom désigne un ensemble de facultés dont les unes sont inconscientes, les autres plus ou moins conscientes, a montré que dans le même groupe d'oiseaux, les Molothres par exemple, sorte d'Étourneaux d'Amérique, on pouvait suivre toutes les étapes du développement d'un instinct identique à celui du Coucou qui dépose ses œufs dans le nid des autres oiseaux. Il en est de même chez les insectes sociaux et surtout chez les Fourmis où l'on voit l'instinct de sociabilité, celui de construction, celui d'approvisionnement aussi bien des larves que des adultes, et beaucoup d'autres, se présenter d'une espèce ou d'un genre à l'autre, sous des formes que l'on peut facilement graduer de l'instinct le plus simple au plus compliqué. On doit conclure de là que chez les Insectes, comme chez les Oiseaux, les instincts ne sont pas innés, n'ont pas été donnés à l'insecte une fois pour toutes, sans variations possibles, mais qu'ils se sont graduellement perfectionnés à mesure que l'insecte se modifiait lui-même et que leur apparente innéité n'est que le fait de l'hérédité. La même gradation peut être constatée chez les Insectes qui vivent solitaires. Tous les insectes ne sont d'ailleurs pas, on le sait, également doués sous ce rapport. Ceux qui ont conservé les formes et le mode d'évolution primitifs (Archinévroptères, Orthoptères, Hémiptères) sont demeurés, le plus souvent, au point de vue des instincts, tout à fait au bas de l'échelle ; les insectes à pièces buccales broyeuses, à métamorphoses complètes (Eunévroptères, Coléoptères), sont déjà un peu moins mal doués, sans qu'il y ait de lien entre ce fait et le mode d'évolution, car les Lépidoptères et les Diptères sont aussi peu doués que les Archinévroptères, tandis que les Termites, qui sont des Névroptères, égalent presque les Hyménoptères les plus remarquables. Leurs espèces sociales n'apparaissent, à la vérité, que durant la période secondaire.

Dans l'ordre des Hyménoptères, aussi bien parmi les formes solitaires que parmi les formes sociales, on peut sérier les ins-

tincts et suivre leur évolution progressive d'espèce à espèce, soit au point de vue de la construction des nids, soit au point de vue de l'approvisionnement des jeunes, soit au point de vue de la manière de tuer les proies, jusqu'à la réalisation de ceux qui ont fait de la part du grand et solitaire naturaliste de Sérignan, J.-H. Fabre, le sujet de tant de belles observations et lui ont inspiré des pages si éloquentes (1). Dans les espèces qui se nourrissent de matières liquides et sucrées, tandis qu'elles nourrissent leurs jeunes de proies, on peut même suivre la transformation du régime carnivore, qui était d'abord commun aux larves et à l'adulte, en un régime sucré, d'abord limité aux adultes comme chez diverses guêpes, puis étendu aux larves comme chez les abeilles et les fourmis. Il est donc certain que les instincts ont évolué, mais l'explication de leur évolution se butte à une difficulté qui a paru insurmontable à Darwin, à Romanes et à moi-même, qui a dressé J.-H. Fabre contre la doctrine de l'évolution et dont je n'ai entrevu la solution que plus tard (2). Elle réside simplement dans ce fait que les Hyménoptères sont de tous les Insectes aptes à vivre d'aliments liquides ceux chez qui les pièces buccales ont les aptitudes les plus variées, si bien qu'on trouve chez eux tous les passages entre une bouche presque franchement broyeuse et une bouche essentiellement lécheuse, pour ainsi dire, celle des Abeilles. Ils ont pu, en conséquence, mieux profiter que les Lépidoptères et les Diptères, des conditions d'existence particulièrement favorables de la calme et tiède période secondaire. L'arrivée des hivers a fait disparaître tous les Insectes dont l'évolution durait plus d'une année et qui n'avaient pas su abriter leurs larves ou s'abriter eux-mêmes contre les rigueurs périodiques du froid. Parmi les individus dont l'évolution durait moins d'un an, n'ont été conservés également que ceux qui, par hasard, avaient pu évoluer entre le commencement et la fin de la belle saison.

(1) LXXVII. — (2) LXXVIII.

Ainsi s'est établi le rythme saisonnier de la reproduction chez les Insectes. Ce rythme avait pour conséquence d'isoler les générations les unes des autres. Tandis que la brièveté de vie supprimait l'expérience, le rythme saisonnier supprimait l'éducation. Mais déjà le cerveau s'était organisé pour rendre automatiques la plupart des actes relatifs à la reproduction. L'hérédité a conservé ce qui était acquis de la sorte, les hivers cependant ont fait disparaître toute possibilité de modification, et c'est ainsi que les instincts devenus fixes ont pris l'allure de mystère qui a arrêté si longtemps les tentatives d'explication. Le mystère une fois dévoilé, nous arrivons à ce paradoxe apparent que leur fixité même devient un argument inespéré en faveur de la théorie de l'évolution, et de la mutabilité des formes vivantes.

En même temps que les Insectes, qui sont de petite taille, les Vertébrés terrestres prennent brusquement un développement rapide. Durant la période triasique les Batraciens stégocéphales vivent encore sous les formes temnospondyle (1) et stéréospondyle (2); parmi ces derniers, les *Mastodonsaurus* du trias d'Allemagne et d'Angleterre atteignaient une taille gigantesque; leur crâne avait à lui seul 1 mètre de long. Les derniers représentants de ce groupe, qui ne dépasse pas le trias, paraissent avoir été les *Labyrinthodon* du comté de Warwick, représentés dans l'Afrique du Sud par les *Rhytidosteus*. A partir de ce moment, les formes persistantes se rapprochent des formes actuelles. Un petit batracien semblable à une salamandre, l'*Hylæobatrachus*, se trouve dans l'argile de Weald ; les batraciens anoures commencent au jurassique avec les *Palæobatrachus* ; mais les grands batraciens, comme les batraciens plus ou moins cuirassés, ont fait leur temps. Le monde

(1) *Eupelor*, *Brachiops* et, dans l'Inde, *Gondwanasaurus*.
(2) *Trematosaurus*, *Capitosaurus*, *Metopias* dans le trias d'Allemagne; *Diadetognathus*, *Pachygonia*, *Gonioglyptus*.

va appartenir aux vrais Reptiles dont la peau s'est desséchée au point de devenir écailleuse, dont le crâne s'articule avec la colonne vertébrale par un seul condyle et dont les arcs branchiaux s'atrophient avant la naissance, sans avoir été utilisés, de sorte que l'animal ne respire jamais que l'air libre.

La Terre, lors de leur apparition, est vide de grands animaux ; de vastes horizons s'offrent à leur activité, et l'on ne saurait évidemment admettre que la lutte pour la vie et la sélection naturelle aient, à ce moment, joué un grand rôle dans l'évolution de ceux qui existent. Cette évolution se poursuivra dans deux directions. La première faune de grands reptiles qui ait apparu sur la terre est surtout connue actuellement par des fossiles trouvés à Elgin, en Écosse, dans le permien de la Bohême, de la Thuringe, et d'Autun, dans la formation du Karroo, dans le sud de l'Afrique, qui appartiennt au début de la période triasique, et dans les dépôts du même âge de l'Amérique du Nord. Ces reptiles semblent avoir disparu vers le milieu de cette période. On n'a aucune indication précise sur leur origine ; ils paraissent cependant se rattacher aux batraciens stégocéphales. Les *Pareiasaurus*, que nous avons vus apparaître à la fin de la période anthracolitique, avaient l'aspect d'une grenouille aussi large qu'un bœuf et pourvue d'une courte queue. Ils atteignaient jusqu'à $2^{m},50$ de long. Leur crâne membraneux était entièrement recouvert de plaques osseuses dermiques, entre lesquelles n'était réservé que le trou occupé par l'œil pariétal ; ces plaques étaient rugueuses, comme sculptées ; elles portaient d'étranges processus épineux chez les *Elginia* qui en étaient voisins. Les dents étaient petites, uniformes, à plusieurs pointes dentelées, disposées en séries, et sur les deux mâchoires et sur le palais. Les membres, courts et trapus, se terminaient chacun par cinq doigts, tandis que les Stégocéphales n'en ont jamais que quatre. Le crâne s'articulait avec la colonne vertébrale par un seul condyle,

comme chez les Reptiles, tandis qu'il en existe deux chez les Batraciens. La mâchoire inférieure, faite de plusieurs pièces, était reliée au crâne par un os carré solidement fixé sur lui. L'épaule comprenait une omoplate, un coracoïde et un précoracoïde soudés ensemble, plus un suprascapulaire (*cleithrum*). Ce sont là des caractères nettement reptiliens, mais déjà, dans l'épaule, on remarque quelques traits qui se retrouveront plus tard chez les Mammifères : les os coracoïdiens sont soudés à l'omoplate, comme l'apophyse coracoïde des Mammifères, et l'omoplate est munie d'une épine qui est caractéristique de ces animaux. Ces caractères s'accentuent sur la ceinture pelvienne qui est construite tout à fait sur le plan de celle des Mammifères, et s'articule à deux ou trois vertèbres constituant un sacrum. Le *Pareiasaurus* et l'*Elginia* forment un premier groupe de théromorphes, celui des PARÉIASAURIENS.

Dans un second groupe, celui des THÉRIODONTES ou animaux à dents de mammifères, le revêtement osseux du crâne demeure incomplet, ainsi que chez les autres théromorphes ; mais chez ces reptiles des modifications très remarquables se produisent dans la dentition. Les dents ne servent plus seulement à retenir les proies; elles mâchent les aliments, l'animal en use comme feront plus tard les Mammifères ; le nombre de ces dents n'est pas très différent de ce qu'il sera chez ces animaux ; on peut déjà les diviser en incisives, canines et molaires. La formule dentaire des *Lycosaurus*, par exemple $\left(i\,\frac{4}{3}\,c\,\frac{1}{1}\,m\,\frac{5}{5}\right)$ pourrait s'appliquer à des mammifères marsupiaux. Celle des *Gomphognathus* $\left(i\,\frac{3}{3}\,c\,\frac{1}{1}\,m\,\frac{12}{12}\right)$ présente seulement des molaires trop nombreuses.

Les molaires gardent d'ailleurs leur caractère reptilien ; elles n'ont qu'un seul tubercule et une seule racine, sauf peut-être celles des *Tritylodon* qui en auraient deux, et consisteraient seulement en une dent élargie, tandis que celles des mammifères résultent de la soudure de plusieurs

dents ; aussi, à côté de similitudes parfois encore plus accusées que celles que nous venons de signaler, trouve-t-on des dissemblances non moins frappantes. Les *Tritylodon* avaient de longues incisives enfoncées profondément dans les mâchoires et à croissance continue, pas de canines et, à leur place, une barre, comme chez les Rongeurs ; les molaires des *Trirachiodon* étaient multituberculées. Il n'y avait pas non plus de canines dans la série continue des dents des *Stereorachis* du permien de France, ni chez les *Empedias molaris* du Texas qui avaient des dents palatines et vomériennes ; en revanche, les *Clepsydrops*, *Dimetrodon*, *Nanosaurus* du Texas pouvaient avoir plus de deux canines à chaque mâchoire, ce qui n'arrive jamais chez les Mammifères. Il n'y avait donc pas parmi ces reptiles de formule dentaire typique fixée par l'hérédité, comme celle des mammifères placentaires, d'où il fût possible de déduire toutes les autres par de simples réductions ; les germes dentaires se déformaient sous la pression des dents, suivant que celles-ci servaient à tel ou tel usage. Naturellement la musculature de la mâchoire inférieure se modifie aussi avec l'usage qu'en fait l'animal, et cela entraîne une modification correspondante de la région de la face où s'attachent ces muscles ; une arcade zygomatique se constitue, rappelant celle des Mammifères, mais un peu autrement composée. L'habitude de mâcher que prirent les Théromorphes suffit à expliquer les ressemblances que leur crâne présente avec celui des Mammifères ; une certaine identité d'allure explique de même la forme de leur omoplate et la constitution de leur bassin ; rien ne prouve que nous soyons en présence des ancêtres des Mammifères.

Il y avait déjà d'ailleurs, à l'époque du trias, de petits mammifères, des marsupiaux tels que les *Dromatherium* de la Caroline et les *Microconodon*.

Certains théromorphes, les *Cynognathus* notamment, avaient toute l'allure de nos carnassiers, mais avec une taille bien plus

grande; leur crâne avait 60 centimètres de long; ils capturaient leur proie et l'emportaient dans leur gueule comme nos tigres; leur tête devait être sans doute, en conséquence, solidement fixée; aussi voit-on l'unique condyle des *Pareiasaurus* s'élargir, prendre la forme d'un rein (1) et finalement se dédoubler comme chez les Mammifères (2). En même temps la région cervicale se raccourcit; elle ne compte que six vertèbres alors que la région dorsale en compte vingt-neuf. L'existence de tels carnassiers suppose qu'il y avait aussi des reptiles herbivores, ou tout au moins se nourrissant d'insectes, de mollusques et autres menues proies. Nous sommes donc bien loin de connaître l'économie de la faune de vertébrés terrestres du trias.

Peut-être faut-il voir des herbivores dans les Anomodontes qui sont représentés par plusieurs genres depuis Elgin, en Écosse jusqu'au Cap. La dentition de ces animaux était réduite à deux défenses rappelant celles des Morses, chez les *Dicynodon*; ces canines sont courtes et coniques chez les *Gordonia* et les *Geikia* d'Elgin; elles peuvent être présentes ou absentes suivant les individus chez les *Cistecephalus,* ce qui donne à penser qu'elles sont caractéristiques du sexe masculin. Dès lors on est porté à admettre que les *Oudenodon,* qui n'ont pas de défenses du tout, ne seraient autre chose que les femelles des *Dicynodon.* Les mâchoires de ces animaux, dont le crâne pouvait atteindre deux décimètres de long, s'allongeaient au delà des défenses et étaient probablement recouvertes d'un bec analogue à celui des tortues, qui d'ailleurs sont déjà représentées à l'époque triasique par plusieurs genres (3).

Les Rhynchocéphales avaient pour représentants les *Telerpeton.*

Enfin la série des Théromorphes se termine par les Placodontes, qui de terrestres étaient déjà redevenus marins et

(1) *Cynognatus platyceps.* — (2) *Cynognatus Berryi.* — (3) *Chelyzoon, Arctosaurus, Psammochelys.*

vivaient de mollusques dont ils broyaient la coquille à l'aide de deux ou trois dents en ciseaux que portait l'intermaxillaire, de trois à cinq molaires supérieures, arrondies, et de dents aplaties en pavé qui garnissaient leur palais et la partie postérieure de leur mandibule. Des Crocodiles variés complétaient cette faune de reptiles triasiques.

Rhynchocéphales, crocodiliens, tortues, continuent à se diversifier dans le détail durant les deux périodes qui portent le plus nettement l'empreinte des temps nouveaux : la période jurassique et la période crétacée. Les lourds Théromorphes ont disparu, mais, tandis que resplendit une végétation d'une variété magnifique, les reptiles prennent un essor prodigieux. Ils n'ont pas de concurrents sur la terre; le sol leur appartient, et dans des conditions de température dont la constance leur est particulièrement favorable. Aucun danger ne menace les plus puissants d'entre eux; ils croissent lentement, comme les Crocodiles actuels, mais la durée de leur vie paisible est telle que certains d'entre eux arrivent à atteindre 40 mètres de long, ce qui suppose, étant donné le temps que mettent à grandir nos Crocodiles, une longévité de cinq ou six siècles. S'il y a encore parmi eux des animaux aux formes ramassées, d'autres sont sveltes et allongés. Peu à peu, beaucoup d'entre eux abandonnent l'attitude affaissée de leurs ancêtres, à laquelle sont condamnés, nous verrons plus tard pourquoi, les reptiles actuels. Usant d'une façon nouvelle des muscles qui rattachent leurs membres à leur tronc, ils ramènent vers lui l'extrémité de leurs humérus et celle de leurs tibias; de manière que leurs bras et leurs cuisses, au lieu de se mouvoir dans des plans horizontaux, comme ceux des lézards, se meuvent dans des plans verticaux comme ceux des mammifères coureurs. Dès lors le ventre ne traîne plus à tere; le même effort musculaire, portant sur les membres devenus des bras de levier allongés, projette bien plus en avant leur

extrémité; le reptile ne rampe plus, il marche, il court, il arrive même à sauter.

Puis dans une attitude plus orgueilleuse encore, l'animal se dresse sur ses pattes postérieures qui deviennent énormes, tandis que les pattes antérieures, à peine utilisées, se raccourcissent et se transforment : c'est l'Oiseau qui se prépare, l'Oiseau qui ne tardera pas à prendre possession de l'air. On voit même apparaître déjà une disposition anatomique remarquable qu'il conservera : des cavités remplies d'air, sans doute en communication avec les poumons, apparaissent soit dans les vertèbres des grands reptiles dinosauriens (1), soit dans les os longs, en même temps que l'allure et la structure des membres se rapprochent déjà de celles des oiseaux. Que des reptiles aient pu demander à leurs muscles de faire les efforts nécessaires pour amener ces modifications n'a rien qui doive étonner. Un grand lézard australien, le Chlamydosaure de King, est encore capable, dans la nature actuelle, de prendre cette attitude dressée qui est pour lui une attitude de défense.

Une première tentative de conquête de l'atmosphère s'ébauche, elle ne réussit qu'à demi; mais il a fallu que les proies se fissent rares et que le séjour sur le sol devînt dangereux pour que les reptiles, après s'être mis sans doute à grimper sur les arbres pour y poursuivre, dans une sécurité relative, les insectes, se décidassent à se lancer à leur poursuite dans l'air. Un nouvel indice d'insécurité du sol, c'est que d'autres reptiles, dont les ancêtres s'étaient donné tant de mal pour quitter la mer et envahir la terre, soient retournés à la mer et, tout en gardant leur organisation de reptiles, aient repris l'existence des poissons, pour les pourchasser et leur disputer la proie facile que constituaient les paresseuses ammonites communes dans toutes les mers.

En franchissant chacune des étapes que nous venons d'énumérer, les Reptiles ont pris naturellement des caractères nou-

(1) *Brontosaurus, Cœlurus, Anchisaurus, Compsognathus.*

veaux, que les naturalistes ont employés pour définir chacun des groupes de reptiles menant le même genre de vie. Tout d'abord le bassin demeure assez semblable à celui des Crocodiles; au-dessous des os iliaques, les deux pubis forment un V à sommet dirigé en avant, les deux ischions un V à sommet dirigé en arrière; le reptile ne peut se dresser debout qu'exceptionnellement; mais il peut être plantigrade ou digitigrade, c'est-à-dire marcher sur la plante entière de son pied, ou sur ses doigts seulement, la plante du pied étant redressée. Le premier cas est celui des Sauropodes; le second celui des Théropodes, au corps extrêmement allongé, et des Cératopsidés, qui avaient les formes lourdes de nos rhinocéros.

Dans une autre série, le train postérieur prend peu à peu un développement plus grand que le train antérieur, et il est probable que l'animal peut se tenir debout. En conséquence, les muscles de la cuisse deviennent plus volumineux, les os du pubis sur lesquels ils s'attachent acquièrent une surface beaucoup plus grande et surtout présentent, comme chez les Oiseaux, pour l'insertion des muscles qui redressent le corps une branche antérieure et une longue branche postérieure, le postpubis; le bassin demeure ouvert en avant comme celui des oiseaux : ces traits caractérisent les Orthopodes. Les Reptiles orthopodes qui continuent à marcher sur quatre pattes et demeurent plantigrades forment le sous-ordre des Stégosaures; ceux dont les membres antérieurs sont tellement petits que le reptile ne peut plus s'appuyer sur eux et doit constamment se tenir dressé sur ses pattes de derrière, à la façon des kanguroos, forment le sous-ordre des Ornithopodes. Tous ces animaux composaient la sous-classe des Dinosauriens ou Sauriens géants, qui comprend les plus colossales et les plus étranges créatures terrestres qui aient existé.

Les Sauropodes avaient l'air d'énormes serpents sur le milieu de la longueur desquels aurait été intercalé un corps d'éléphant. Ils portaient au bout de leur long cou une tête singulièrement

petite, n'excédant pas, chez le *Brontosaurus excelsus* (1), qui avait 30 mètres de long, le diamètre de la quatrième vertèbre du cou où on en comptait 13. Avec lui vivait dans le Wyoming l'*Atlantosaurus immanis* qui approchait 60 mètres. Le *Morosaurus grandis* était, au contraire, de moitié plus petit que le Brontosaure et n'avait que quatre vertèbres au sacrum, au lieu de cinq. Un autre de leurs compagnons du Colorado, le célèbre *Diplodocus longus*, complètement reconstitué par le prof. Holland et dont un magnifique moulage a été donné par M. Carnegie au Muséum d'histoire naturelle de Paris, mesurait 26 mètres de long; sa tête, moins réduite que celle du Brontosaure, avait un peu l'aspect d'une tête de cheval; ses mâchoires étaient munies, sur le devant seulement, de longues dents en forme d'incisives, accompagnées chacune, en dedans, d'une rangée de dents de remplacement.

D'après la forme de leurs dents, tous ces grands reptiles étaient manifestement herbivores. Si l'on se rappelle le lien que nous avons précédemment indiqué entre la multiplication des vertèbres et la part que prend le tronc à la locomotion, si l'on ajoute que les vertèbres caudales du *Diplodocus* portent des os en chevron munis chacun de deux poutrelles horizontales symétriques, indiquant que cette queue devait appuyer sur le sol et servir à la propulsion de l'animal, on arrive à penser que les sauropodes vivaient dans une brousse épaisse où ils se faufilaient, pour ainsi dire, en l'écartant au moyen des mouvements de leur long cou et en se poussant ensuite avec leur queue, leurs membres leur permettant de se tenir à distance du sol où l'enchevêtrement des branches était particulièrement serré. La forme des pieds et leur petitesse excluent l'idée quelquefois émise que c'étaient des animaux de marécage, et la position de leurs narines sur le museau et non à son extrémité, qui leur est commune avec les animaux aquatiques, s'explique encore mieux par l'usage qu'ils faisaient de leur tête pour écarter les

(1) Du jurassique supérieur.

branches; de ce seul fait les narines devaient être mécaniquement repoussées en arrière, d'autant plus qu'à l'extrémité du museau elles auraient été constamment blessées et obstruées par les broussailles.

Tous les grands reptiles dont nous venons de parler appartiennent au jurassique supérieur, mais des animaux analogues devaient vivre beaucoup plus tôt, dès le trias inférieur. Dans les grès de Fozières, près de Lodève, qui remontent à cette époque, et dans ceux du Connecticut, on observe en effet des empreintes de pieds pentadactyles avec un pouce écarté, qui ne peuvent avoir appartenu à des Stégocéphales, dont les pieds possédaient constamment quatre doigts. D'autre part, un pied tridactyle a laissé des traces si semblables à celles d'un pied d'oiseau que Hitchcock, lorsqu'il découvrit les premières dans le Connecticut, les désigna sous le nom d'*Ornithichnites*, ce qui signifie traces d'oiseaux. Il n'y avait certainement pas d'oiseaux au début de la période secondaire; il est donc impossible de rapporter, au moins provisoirement, ces traces, dont certaines avaient près de quatre décimètres de long, à d'autres animaux qu'à des Théropodes. On trouve aussi des traces pentadactyles de quatre membres dont les antérieurs étaient déjà beaucoup plus petits que les postérieurs; elles appartenaient à des animaux de diverses grandeurs, mais manifestement de même espèce, comme si les jeunes avaient vécu avec leurs parents; les pas de ces derniers s'allongeaient jusqu'à deux mètres. La persistance de ces traces, jusqu'au moment où de nouveaux dépôts sont venus les recouvrir, semble confirmer que les animaux n'étaient pas très abondants, et que la lutte pour la vie n'était, par conséquent, pas très active dans les régions où elles furent imprimées. On a donné à l'animal inconnu qui a ainsi marqué ses empreintes dans le sable le nom de *Brontozoum giganteum* (1). Les *Brontozoum* ont laissé

(1) *Brontozoum* signifie : animal du tonnerre; nous avons déjà rencontré un *Brontosaurus*, ou lézard du tonnerre.

sur le sable la trace de leur queue, comme celle de leurs pieds.

Les Théropodes avaient des dents pointues, en crochet; c'étaient des reptiles carnassiers marchant à la façon des kanguroos. Le redressement du corps sur les pattes de derrière est évidemment le fait d'une habitude qui a graduellement modifié le volume et les points d'attache des muscles, modifications qui ont ensuite retenti sur les os et les dimensions des membres. Cette habitude s'explique d'elle-même chez des animaux carnassiers, vivant dans la brousse et qui avaient besoin d'élever leur tête au-dessus des tiges pour surveiller les alentours, guetter leur proie et se mettre au besoin en sûreté. Elle commençait déjà, sans doute, à s'imposer aux Sauropodes, dont le train postérieur était plus développé que le train de devant ; plus tard elle s'est alliée à une autre habitude, celle de sauter. Les membres postérieurs, encore presque plantigrades chez les *Anchisaurus* du Connecticut, deviennent peu à peu digitigrades; dès lors, les doigts les plus petits, cessant de toucher terre, avortent. Les *Zanclodon* du trias supérieur du Wurtemberg, qui avaient trois mètres de long, et les formes analogues de France, d'Angleterre, du sud de l'Afrique et de l'Inde, avaient cinq doigts à tous les membres. Les Mégalosaures, qui ont vécu du trias au crétacé supérieur en France, en Angleterre, dans le Colorado et dans l'Inde, étaient un peu plus grands et n'avaient plus que quatre doigts aux pieds de derrière. L'*Hallopus victor* du Colorado demeurait à un mètre de long ; ses membres antérieurs très courts n'avaient plus que quatre doigts, les membres postérieurs trois, le premier étant absent, le cinquième représenté par un court métatarsien. Le *Ceratosaurus* de la même région, qui portait une corne sur le nez et dépassait cinq mètres de long, n'avait aussi que trois doigts aux pattes postérieures; mais leurs trois métatarsiens étaient soudés, comme nous le verrons se produire plus tard chez les animaux sauteurs ou coureurs. Les Allosaures de l'Amérique du Nord ne possédaient que trois doigts à toutes les pattes. Enfin les

pattes postérieures du petit *Compsognathus longipes* du jurassique de Bavière étaient de véritables pattes d'oiseau, dont les trois métatarsiens subsistants étaient soudés non seulement entre eux, mais encore avec la rangée distale des os du tarse; la rangée proximale de ces os étant elle-même adhérente, quoique non soudée au tibia auquel était accolé un péroné rudimentaire. Malgré cela, le bassin restait du type reptilien; il était suivi d'une longue queue, et les mâchoires étaient garnies de dents aiguës sur toute leur étendue. Beaucoup de théropodes (*Cœlurus, Hallopus,* etc.) avaient des os creux présentant à leur surface des trous dans lesquels pénétraient des sacs aériens dépendant des poumons, comme ceux des oiseaux dont ces animaux demeurent cependant éloignés par la forme de leur bassin.

Le bassin des Orthopodes se rapproche au contraire suffisamment de celui des oiseaux pour que Huxley ait proposé de leur appliquer la dénomination d'Ornithoscélidés. Cette forme de bassin ne correspond pas nécessairement avec une attitude toujours debout; elle n'implique qu'un grand développement des membres postérieurs par rapport aux membres antérieurs et la possibilité de se dresser sur eux. Les reptiles réunis dans le sous-ordre des Stégosauriens sont encore presque plantigrades. Cependant ceux du genre *Scelidosaurus* n'ont que quatre doigts à toutes les pattes, et il n'en reste plus que trois aux pattes postérieures des Stégosaures. Les Scélidosaures avaient un peu plus de quatre mètres de long; ils vivaient, à l'époque du jurassique inférieur (lias), à Lyme Regis en Angleterre. Des formes analogues se trouvent également dans le wealdien anglais (*Hylæosaurus polyacanthus*). Les Stégosauriens du jurassique supérieur du Wyoming et du Colorado approchaient d'une longueur de dix mètres. Ces Stégosauriens étaient de singuliers animaux; la disproportion entre leurs membres antérieurs et leurs membres postérieurs déterminait, quand ils marchaient sur leurs quatre pattes,

une très forte convexité de leur dos, et le long de cette ligne courbe se disposait chez les Scélidosaures une double rangée de plaques osseuses saillantes qui devenait simple sur la queue très allongée. Chez les Stégosaures les plaques dorsales ne formaient qu'une seule rangée, mais elles étaient énormes, triangulaires et dressées verticalement, leur sommet en l'air ; les plus grandes avaient près d'un mètre de haut ; cette rangée de plaques se dédoublait sur la queue qui portait ainsi deux rangées d'épines de 60 centimètres de long.

Le type digitigrade devient très accusé et constant chez les Ornithopodes, qui se tenaient habituellement dressés sur leur train postérieur ; leurs os longs étaint creux et en communication avec des sacs aériens comme ceux des oiseaux. Nous avons déjà rencontré ce caractère chez les Théropodes, qui pratiquaient également l'attitude bipède. Cette attitude implique une plus grande dépense de travail pour les muscles de la région postérieure du corps que l'attitude quadrupède. D'autre part, le développement des sacs aériens apporte un appoint considérable à la puissance respiratoire des poumons ; il n'est pas impossible que ce soit à ce surcroît d'activité respiratoire que les Théropodes et les Orthopodes aient dû la possibilité d'acquérir leur mode nouveau de locomotion qui les rendait particulièrement aptes à la course et au saut. On retrouve ici une série de formes analogues à celles des Théropodes. Les *Camptosaurus* du jurassique inférieur et de la base du crétacé anglais (wealdien) avaient cinq doigts et quatre orteils. Les *Hypsilophodon* des mêmes localités n'avaient que quatre doigts et quatre orteils. Les *Iguanodon* du Nord, du Néocomien de Belgique et d'Allemagne n'avaient aux pattes de devant que quatre doigts, et trois aux pattes de derrière, leur pouce étant transformé en un formidable éperon. Les *Hadrosaurus* et les *Trachodon* des mêmes régions leur ressemblaient beaucoup, mais leur bouche se prolongeait en une sorte de bec de canard édenté ; en arrière de ce bec étaient plusieurs rangées de petites dents ;

elles formaient une rangée fonctionnelle, suivie intérieurement de nombreuses rangées de dents de remplacement, le nombre total des dents atteignant deux mille.

De tous ces reptiles, les mieux connus sont les Iguanodons, ainsi nommés parce que leurs dents d'herbivores ressemblaient à celles des grands lézards américains qu'on appelle des Iguanes. Ils vivaient à l'époque du crétacé inférieur en Angleterre, en Belgique, en Allemagne. Une première espèce, l'*I. Mantelli*, fut découverte en Angleterre ; elle ne mesurait guère que cinq à six mètres de long ; les squelettes complets d'une trentaine d'individus d'une autre espèce, l'*I. Bernissarti*, ont été trouvés ensemble, à Bernissart, entre Mons et Tournay, en Belgique, tout près de la frontière française, au fond d'un puits de mine, à 200 mètres de profondeur au-dessous du niveau actuel de la mer. Ils se trouvaient dans une excavation des terrains carbonifères, remplie par de l'argile wealdienne à la surface de laquelle étaient encore marquées les traces de leurs pas indiquant que les pattes postérieures seules posaient sur le sol. Comme on ne trouve jamais de traces de la queue, il faut admettre que celle-ci était tenue loin du sol et servait de balancier. Les Iguanodons étaient certainement herbivores ; les dents étaient absentes sur le devant de leur bouche, dont les lèvres étaient sans doute recouvertes par un revêtement corné ; leur attitude indique cependant qu'ils ne broutaient pas l'herbe, mais mangeaient, comme le feront plus tard les *Megatherium*, les feuilles des arbres dont ils saisissaient le tronc entre leurs robustes mains.

Le dernier représentant de ce groupe a été l'*Ornithomimus* du crétacé supérieur du Colorado dont tous les membres étaient tridactyles et chez qui l'extrémité supérieure du troisième métatarsien, enfoncée entre le deuxième et le quatrième, se confondait partiellement avec eux comme chez les jeunes oiseaux. C'étaient de très grands animaux dont les membres sont malheureusement seuls connus.

Les Dinosauriens que nous venons de passer rapidement en revue ont tous un air de famille. Ils ont un long cou, une longue queue, un tronc qui ne dépasse généralement pas la longueur du cou, une tête presque toujours petite ou même extrêmement petite, si bien que leur cerveau est parfois bien moins volumineux que le renflement lombaire de leur moelle épinière. Ils ont dû former deux séries parallèles, l'une de carnassiers, l'autre d'herbivores, qui commençaient chacune par des espèces plantigrades à bassin fermé, sans postpubis, et se terminaient par des espèces dressées, à postpubis. C'est probablement ainsi qu'à la suite de découvertes ultérieures on sera amené à dresser leur classification généalogique. Car si l'on conçoit facilement que des animaux de même régime puissent prendre graduellement la série d'attitudes que nous avons décrites, on ne conçoit pas pourquoi à chaque forme de bassin correspondraient deux régimes différents. Malheureusement la série des carnassiers est encore très incomplète et se réduit aux seuls théropodes digitigrades et sans postpubis.

Les monstrueux Cératopsidés, dont il nous reste à parler, contrastent d'une façon absolue avec les précédents. Leur cou et leur queue étaient de grandeur moyenne; leur tronc puissant; leurs quatre membres presque égaux, pourvus de cinq doigts posant tous les cinq sur le sol; ils avaient l'apparence massive des rhinocéros, mais de rhinocéros dont la taille gigantesque dépassait six mètres de long et atteignait à l'arrière de deux à trois mètres de hauteur. Leur tête était peut-être ce qu'il y a eu de plus étrange dans le règne animal; terminée en avant par une sorte de bec d'oiseau de proie, ce qui n'empêchait pas les mâchoires d'être revêtues de dents à deux racines implantées dans des alvéoles, elle se dilatait en arrière en un vaste et épais manteau osseux, en forme d'entonnoir qui couvrait le cou et arrivait tout près des épaules. Cette tête formidable, qui avait ainsi deux (1) à trois (2) mètres de long, portait trois cornes

(1) *Triceratops flabellatus*. — (2) *T. prorsus*.

uissantes, une sur le nez, les deux autres au-dessus des yeux. D'autres Cératopsidés, les Nodosaures par exémple, étaient en outre protégés par une cuirasse de plaques osseuses dermiques. Ces monstres vivaient pendant l'époque crétacée dans l'Amérique du Nord, au Wyoming notamment. On n'en connaît qu'un seul genre en Europe, le genre *Craïœomus* dont M. Depéret a signalé la présence dans l'Hérault. Ils étaient herbivores comme les Titanosaures, les Iguanodons, les Trachosaures, qui ont pu être leurs contemporains et qui étaient encore plus colossaux. Tous ces herbivores devaient vivre à peu près en paix. Leurs grands ennemis étaient les Mégalosaures et les *Lœlaps*, grands théropodes carnassiers, sauteurs, à mouvements rapides, auxquels ils opposaient tranquillement les armes terribles que constituaient leur bec et leurs cornes, et leur impénétrable bouclier céphalique.

D'où est issue cette merveilleuse et grandiose population de la Terre aux temps secondaires? Sans doute, à la fin de la période primaire, les vertébrés terrestres ont déjà pris de l'essor. Les reptiles à dentition variée du trias, bien que demeurant écrasés contre le sol, ont atteint de grandes dimensions et quelques-uns d'entre eux se relient de loin aux grands Batraciens stégocéphales, auxquels se rattachent aussi les Reptiles rhynchocéphales. Ceux-ci, quoique demeurés modestes dans leurs dimensions, semblent avoir eu pour héritiers les Dinosauriens, auxquels ils ont légué diverses particularités de leur crâne et notamment le mode de constitution de leur voûte palatine. Mais si le mécanisme physiologique qui a tiré les reptiles marcheurs ou sauteurs des reptiles rampants apparaît nettement, s'il est possible de reconstituer, de loin en loin, quelques stades de cette évolution, la série des étapes parcourues est coupée par d'énormes vides. On prévoit même qu'elle sera difficile à reconstituer. Beaucoup de ces animaux cryptogènes se montrent presque en même temps sur des points du Globe tellement éloignés qu'on ne peut que difficilement admettre qu'il ait existé

entre eux une communication suffisamment facile pour que des animaux aussi lourds, et probablement sédentaires, aient pu franchir d'aussi grandes distances. Des formes oscillant autour des genres triasiques *Zanclodon* et Mégalosaure, par exemple, se trouvent en Europe et aux États-Unis qui dépendaient du continent Nord-Atlantique, dans l'Afrique du Sud et dans l'Inde qui faisaient, à cette époque, partie du continent de Gondwana. Les *Morosaurus*, *Cœlurus*, *Stegosaurus*, *Camptosaurus*, *Triceratops*, *Hadrosaurus* se trouvent représentés, quelquefois par des espèces différentes, en Europe et aux États-Unis, c'est-à-dire aux deux extrémités du continent Nord-Atlantique, durant les périodes jurassique et crétacée. Bien que ces périodes aient été assez longues pour que les voyages les plus étendus, à l'intérieur d'un même continent, aient été possibles, cette vaste répartition demeure remarquable, et il paraît impossible, en tout cas, que de telles migrations aient eu lieu du continent de Gondwana au continent Nord-Atlantique. Il faut dès lors admettre que des formes semblables ont pu naître séparément; ce qui vient confirmer que les forces naturelles, qui sont constantes, agissant sur des organismes peu différents au début, comme l'étaient nécessairement les premiers Batraciens, ont pu produire d'une manière indépendante, dans des régions très éloignées du Globe, des séries organiques analogues. Cela revient à dire que les mêmes causes, agissant dans des conditions semblables, produisent toujours les mêmes effets. C'est une vérité élémentaire qu'il est cependant utile de rappeler dans le domaine des sciences naturelles où l'idée de créations capricieuses et indépendantes a pendant si longtemps régné. L'évolution parallèle des Dinosauriens herbivores et des Dinosauriens carnivores montre d'ailleurs combien étaient fragiles les principes de la corrélation des formes et de la subordination des caractères, sur lesquels Cuvier avait fondé toute son anatomie comparée si profondément finaliste.

Nous venons d'étudier la merveilleuse évolution des Reptiles

terrestres; mais les Reptiles ne se sont pas bornés à envahir la terre, ils ont aussi acquis des ailes, probablement par suite de la formation, chez des formes arboricoles de la période secondaire, d'un repli de la peau des flancs semblable à ceux que nous avons signalés (p. 153). Malheureusement les formes de passage sont inconnues. L'aile des Ptérosauriens était toujours construite sur le même type : une vaste membrane courait tout le long des flancs jusqu'à l'extrémité de la queue, en arrière, et s'étalait en avant sur le bord du doigt externe des mains, devenu trois fois plus long que le corps. Contrairement à ce qui avait lieu dans les types précédents, la tête énorme, pouvait égaler le tiers de la longueur du corps (*Pterodactylus crassirostris*). Elle était articulée perpendiculairement au cou, et ses os se soudaient comme chez les oiseaux, ce qui semble indiquer un lien entre la rapide locomotion aérienne et cette disposition. Les mâchoires portaient des dents aiguës (*Pteranodon*) qui pouvaient être remplacées par une sorte de bec corné, dont la terminaison en pointe des mâchoires, chez les Ramphorhynques, peut être considérée comme une indication. Les plus anciens débris connus d'un ptérosaurien remontent au lias de Lyme Regis. Ce précurseur (*Dimorphodon macronyx*) avait une queue grêle de 6 décimètres de long; le corps en mesurait à peu près autant. Les Rhamphorhynques du jurassique supérieur d'Allemagne et les *Ornithocheirus* du Weald anglais avaient aussi une longue queue que terminait une sorte de gouvernail membraneux; leurs dents étaient pointues, espacées et inclinées en avant. Les Ptérodactyles, leurs contemporains, n'avaient, au contraire, qu'une queue très courte; leur taille oscillait entre celle d'un corbeau et celle d'un moineau. Les géants des ptérosauriens étaient les *Pteranodon*, qui avaient 6 mètres d'envergure et dépassaient de beaucoup les dimensions de nos plus grands Condors. Ils vivaient au Kansas à l'époque du crétacé moyen. C'étaient là des chasseurs d'insectes; leur long bec pointu ne leur permettait pas de déchirer des proies. Ils ne pouvaient se poser à terre

pour capturer de petits animaux; comme les chauves-souris, ils n'auraient pu reprendre leur essor. Ceci s'applique du reste à tous les ptérosauriens qui, pour se reposer, devaient se suspendre aux branches d'arbres, soit à l'aide des quatre doigts normaux de leur main, soit à l'aide de leurs pieds; ils n'avaient alors qu'à ouvrir leurs ailes, au cours de la chute, pour prendre leur vol. La taille des *Pteranodon* indique que les insectes devaient foisonner pendant la période crétacée. L'existence des *Dimorphodon* au lias prouve que déjà, à cette époque, les insectes aptes au vol étaient nombreux. Mais il reste à se demander à quoi les Ramphorhynques et les Ptérodactyles employaient leurs dents, bien longues pour d'aussi minces proies. Cela semble impliquer qu'il y avait déjà des oiseaux et que l'*Archæopteryx* n'était peut-être pas le plus parfait.

Nous arrivons enfin aux reptiles qui durant la période secondaire ont envahi les eaux. Ce retour n'a rien qui puisse étonner outre mesure, puisque les Crocodiles n'ont jamais abandonné le voisinage des fleuves. Dès l'époque du trias il y avait des reptiles marins dont les pattes, par un processus contraire à celui des Dinosauriens, s'étaient raccourcies, élargies, avaient souvent multiplié leurs phalanges digitales et finalement s'étaient transformées en palettes ne pouvant servir qu'à la natation. Ils appartenaient à deux types : dans l'un, celui des Plésiosauriens, aussi appelé Hydrosauriens ou Sauroptérygiens, la tête était petite, le cou allongé comme chez les Dinosauriens, mais la queue était très courte; dans l'autre, celui des Ichthyosauriens ou Ichthyoptérygiens, la tête était au contraire volumineuse, le cou très court, la queue assez longue mais aplatie et, comme la queue des poissons, donnait à l'animal l'impulsion la plus vigoureuse pour la natation. A ces différences d'aspect devaient correspondre deux genres de vie fort différents. Nageant uniquement au moyen de leurs palettes latérales, aidées peut-être des ondulations de leur cou de cygne, les Plésiosaures étaient probablement des animaux de surface

qui devaient facilement plonger, mais se tenaient dans des profondeurs faibles et fouillaient, sans doute, la vase à la façon des Oies et des Cygnes. Les Ichthyosaures, au contraire, vivaient, à la façon de véritables poissons, et ne revenaient à la surface que pour respirer comme nos Marsouins. Nageant non seulement à l'aide de leurs palettes mais aussi à l'aide de leur queue, ils se trouvaient soumis aux mêmes résistances de la part de l'eau que les poissons eux-mêmes; leur cou s'est donc raccourci, et ils ont pris exactement la forme de ces derniers. On peut en voir, à la belle galerie de paléontologie du Museum, un exemplaire acquis par la société des Amis du Museum qui a été conservé avec son tégument soutenu par de petites écailles. Outre les nageoires paires, il avait sur le dos une nageoire impaire et sa queue se terminait par une nageoire divisée en deux lobes inégaux. La portion de la colonne vertébrale correspondant à cette nageoire est brusquement courbée vers le bas, à l'inverse de la queue des poissons hétérocerques. Nous avons vu (p. 272) que cette queue était un organe de montée; par contre, la queue des Ichthyosaures était un organe de plongée : les Ichthyosaures, allégés par leurs poumons remplis d'air, étaient entraînés naturellement vers la surface; ils avaient donc à faire effort pour descendre.

Entre les Ichthyoptérygiens et les reptiles terrestres on n'a trouvé jusqu'à présent aucune forme de transition, si ce n'est les *Mixosaurus* du trias, chez qui le radius et le cubitus sont encore allongés et laissent entre eux un léger intervalle longitudinal. Les dents, très nombreuses chez les Ichthyosaures, deviennent très petites chez les Ophthalmosaures du jurassique et du crétacé d'Angleterre ; elles ont disparu, comme chez nos Baleines, chez les *Baptanodon*, du jurassique supérieur du Wyoming.

Les Plésiosauriens sont moins isolés. Ils se relient à des reptiles qui ont des vertèbres biconcaves comme les leurs, présentent une fosse temporale supérieure et des côtes ventrales,

dont les membres, encore peu différents de ceux des reptiles terrestres, sont cependant adaptés déjà à la natation, ce sont les NOTHOSAURIENS, formes primitives chez qui la corde dorsale s'est conservée au centre des vertèbres. Les *Mesosaurus*, qui en sont le type initial, sont fossilisés dans les grès triasiques du Karoo au sud de l'Afrique et dans ceux de São Paulo au Brésil ; ils n'avaient que 9 vertèbres au cou, leur longueur ne dépassait pas 3 décimètres ; les *Lariosaurus* atteignaient un mètre de long ; ils avaient conservé des dents palatines ; leur cou comprenait 20 vertèbres et leur queue 40, à la vérité très courtes ; les *Nothosaurus* grandissaient jusqu'à 3 mètres ; ils avaient au cou 16 vertèbres. D'autres formes se trouvent dans le Muschelkalk, près de Magdebourg. Chez les PLÉSIOSAURIENS, proprement dits, qui ont vécu depuis le trias inférieur jusqu'au jurassique, le cou s'allonge davantage ; il peut comprendre de 28 à 40 vertèbres ; il est encore plus long chez les ELASMOSAURIENS, où le nombre de ses vertèbres oscille de 35 à 72. En revanche, leur queue, est extrêmement courte. Les Élasmosauriens différaient surtout des Plésiosauriens par des particularités de leurs épaules dont les omoplates se rejoignaient ventralement, au lieu du demeurer écartées comme chez ces derniers. L'*Elasmosaurus* du crétacé supérieur du Kansas avait 15 mètres de long dont 7 environ pour le cou. Les *Pliosaurus*, qui avaient 10 mètres de long et dont on trouve les ossements dans l'argile de Kimmeridje, nageaient sans doute sous l'eau plus habituellement que les autres espèces ; les vertèbres de leur cou, au nombre de 20, étaient en effet aplaties comme si elles avaient été comprimées par la résistance de l'eau ; c'étaient d'ailleurs de terribles animaux, armés de dents formidables dont quelques-unes atteignaient 3 décimètres de long et qui n'auraient pas trouvé sur les côtes de proies en rapport avec une aussi puissante armature des mâchoires. Les membres de tous ces Plésiosauriens étaient moins modifiés que ceux des Ichthyosaures. Ils ne comptaient jamais que cinq doigts tandis que ceux

des Ichthyosaures par dédoublement de l'un des doigts pouvaient en avoir six ; le nombre des phalanges était seulement notablement augmenté. L'humérus, le radius et le cubitus, ainsi que les os correspondants du membre postérieur, demeuraient nettement plus allongés que les os du carpe, du tarse et des doigts.

Pendant que les Ichthyosaures et les Plésiosaures issus des formes inférieures des reptiles disparaissent des mers du crétacé supérieur, d'autres sauriens deviennent à leur tour aquatiques et même marins, mais en revêtant de tout autres caractères. Ils semblent avoir apparu d'abord dans les mers australes. Leur dentition indique nettement leur parenté avec les Lacertiens. Les Plésiosauriens ont leurs dents implantées chacune dans une alvéole ; celles des Ichthyosauriens sont alignées dans des gouttières non divisées en alvéoles, celles des nouveaux reptiles aquatiques, les PYTHONOMORPHES sont simplement soudées aux maxillaires, comme chez de nombreux Lacertiens. Mais la forme de ces dents était variée et a donné au paléontologiste Dollo des indications sur leur régime alimentaire. La puissante dentition des *Mosasaurus* indique qu'ils s'attaquaient, sans doute, soit à des Mosasauriens moins bien armés, soit à des Tortues marines. Les dents grêles, recourbées et les faibles mâchoires des *Plioplatecarpus* ne leur permettaient guère de s'attaquer qu'aux mollusques moyens tels que les Bélemnitelles; les *Globidens* a dents arrondies et à mâchoires faibles se nourrissaient probablement d'Oursins. Ce ne sont pas là seulement des hypothèses; ces proies ont été parfois fossilisées avec eux (1). Ces animaux existaient déjà dans le crétacé inférieur. En devenant aquatiques, leur corps s'allonge comme celui des serpents, les membres gardent les caractères essentiels des membres des reptiles terrestres, seulement ils se rapetissent; leurs os se raccourcissent et s'aplatissent, et l'ensemble du membre devient ainsi une rame natatoire. Les plus anciens sont les *Dolichosaurus*

(1) XXX.

du crétacé inférieur d'Angleterre, qui n'avaient qu'un mètre de long; les deux moitiés de leurs mandibules étaient soudées. Ils avaient sur les vertèbres des apophyses articulaires supplémentaires comme les serpents. Il en était de même des *Acteosaurus* de l'Istrie, tandis que ces apophyses manquaient aux *Plioplatecarpus* du crétacé supérieur de Hollande. Chez les Mosasaures, la ressemblance avec les serpents s'accentue par la substitution d'un ligament permettant l'écartement des deux branches de la mâchoire inférieure, à la symphyse qui les unissait. Les Mosasaures, dont le nom signifie lézard de la Meuse, pouvaient atteindre de 6 à 7 mètres de long; c'est la longueur ordinaire des Boas et des Pythons. Les *Clidastes*, dont il existe de beaux échantillons complets au musée de Bruxelles, étaient encore plus longs et plus grêles ; on les a trouvés en Europe et dans l'Amérique du Nord sur les côtes du continent Nord-Atlantique par conséquent; mais les *Platecarpus* et les *Liodon* avaient une aire de répartition encore plus vaste. On en a recueilli les ossements depuis l'Amérique du Nord et l'Europe jusqu'à la Nouvelle-Zélande. Le *Liodon haumuriensis* de cette région atteignait 35 mètres de long. En raison de la dilatabilité de leur mâchoire inférieure et des apophyses articulaires spéciales de leurs vertèbres, on a pensé que les Mosasauriens étaient les ancêtres des serpents ; mais bien qu'il soit établi par la présence chez les Pythons de deux pattes postérieures rudimentaires que les Ophidiens descendent d'animaux pourvus de pattes, et que les pattes disparaissent graduellement chez les Scincoïdiens, des Scinques aux Orvets, en passant par les Seps, on ne peut dire encore comment l'ordre des Ophidiens a pris naissance.

Les Tortues remontent jusqu'à l'époque triasique où elles sont représentées par les genres *Chelyzoon*, *Arctosaurus*, *Psammochelys* et *Progomochelys*, qui semblent avoir quelque rapport avec les Rhynchocéphales et les Crocodiliens ; peut-être ont-elles eu, dans l'ère primaire, un ancêtre commun avec les

Théropodes. Hans Gadow a essayé de reconstruire la première Tortue en lui attribuant les caractères les plus généraux et les plus primitifs, en apparence, que l'on constate chez les Tortues fossiles et vivantes actuellement connues. Il suppose que chez cet animal imaginaire chacun des segments du corps, sauf ceux de la moitié antérieure du cou et de la moitié postérieure de la queue, portait une série transverse d'os dermiques, recouverts par des boucliers cornés dont la position et les dimensions relatives se seraient ensuite modifiées en raison du mode de croissance du tronc qui va en se resserrant rapidement au voisinage du cou et de la queue.

L'ordre des Chéloniens atteint le maximum de son développement vers la fin de l'ère secondaire ; les types actuels ne sont qu'un reste de ceux qui existaient à cette époque. Il est probable que les formes à pieds palmés, normalement conformés, qui habitent les marécages, sont l'origine des formes terrestres dont le mode de progression ressemble encore à une sorte de natation sur un sol résistant, et que les tortues marines, avec leurs pattes transformées en rames, en dérivent aussi par une modification de la main et du pied analogue à celle que nous avons déjà trouvée chez les Plésiosaures, les Ichthyosaures, et sur la signification de laquelle nous avons précédemment insisté (1).

Au moment où s'achève la période secondaire, les prodigieux reptiles dont nous venons de conter l'histoire disparaissent tous, comme ont disparu, dans la mer, les Ammonites. A quoi attribuer cette extinction générale d'animaux aussi puissants et dont la résistance vitale s'est manifestée par leur extraordinaire longévité? On ne saurait imaginer que les types organiques vieillissent comme les individus et meurent comme eux. Cette proposition souvent répétée n'a que la valeur d'une comparaison. Tant qu'il subsiste des représentants aptes à se reproduire et

(1) P. 229 et 323.

assez nombreux pour se rencontrer, d'une espèce déterminée, cette espèce ne saurait disparaître spontanément, pas plus que le type auquel elle appartient. Il n'est pas à la vérité impossible que des modifications du milieu frappent de stérilité tous les individus d'un même groupe organique, mais il faudrait pour cela que cette modification du milieu fût générale, qu'elle ne laissât échapper aucune espèce et qu'elle fût assez brusque pour rendre impossible toute adaptation. Ces deux suppositions sont également invraisemblables, et nous sommes amenés à conclure que les choses se sont passées comme de nos jours, où les espèces ne disparaissent que lorsqu'elles sont universellement détruites par leurs ennemis ou par quelque fléau, dans la région qu'elles habitent. Nous avons donc à rechercher quels ont pu être les destructeurs des plus gigantesques animaux qui aient jamais vécu. Depuis le début de l'ère secondaire se multiplient lentement, discrètement, deux types de vertébrés que nous avons eu à peine l'occasion de signaler, les Oiseaux et les Mammifères. Le plus ancien des oiseaux, l'*Archæopteryx lithographica*, n'est connu que par deux exemplaires découverts dans le calcaire lithographique de Solenhofen qui appartient à la période oolithique. Les oiseaux ne se retrouvent ensuite que dans la craie où ils sont représentés par les quatre genres *Enaliornis* d'Angleterre, *Hesperornis*, *Ichthyornis* et *Apatornis* du Kansas en Amérique. Tous ces oiseaux sont encore fort étranges. L'Archæoptéryx avait des mâchoires courtes, arrondies au bout, au lieu d'être allongées et pointues, comme le sont ordinairement celles des oiseaux actuels; ces mâchoires avaient des dents; les membres antérieurs portaient des pennes, mais les quatre doigts qui les terminaient étaient libres, munis de griffes, presque normaux; la queue était longue, comme une queue de reptile, composée de 22 vertèbres portant chacune une paire de longues pennes rectrices; c'était là un appendice fort encombrant pour le vol et, sans aucun doute, si l'on avait rencontré l'Archæoptéryx démuni de ses plumes, on n'aurait pas manqué de le classer parmi les

reptiles. L'origine reptilienne des oiseaux est donc ici nettement indiquée.

Les formes crétacées ont pris plus nettement le caractère de ces animaux. Leur bec est bien conformé et leur corps se termine non par une longue queue, mais par un croupion de forme normale. Les *Enaliornis* et les *Hesperornis* n'avaient pas d'ailes ou n'avaient que des ailes rudimentaires et pas de bréchet; les vertèbres des *Enaliornis* étaient en grande partie biconcaves comme celles des reptiles primitifs ; celles des *Hesperornis* avaient une face terminale concave, l'autre convexe. Dans ces deux genres les dents étaient placées dans une simple gouttière non cloisonnée en alvéoles, ce qui les a fait classer ensemble sous la désignation d'ODONTOLCÆ. Chez les *Ichthyornis* et les *Apatornis* les dents étaient implantées dans des alvéoles, accompagnées de dents de remplacement (ODONTORMÆ); les ailes et le bréchet étaient bien développés. Ils est évident que ces oiseaux, malgré leurs dents alvéolées, sont plus primitifs que les *Hesperornis* qui ont perdu leurs ailes et dont les dents contenues dans une simple gouttière des mâchoires sont sur le chemin de la disparition. Ce seul fait indique que les oiseaux à croupion étaient déjà anciens à l'époque crétacée puisqu'ils avaient eu le temps de se modifier, et comme, dès le début de la période tertiaire, on trouve déjà presque tous les types de la période actuelle, il est vraisemblable que ces types s'étaient déjà réalisés pendant la période crétacée, et que c'est par suite d'un de ces hasards, si fréquents en paléontologie, qu'on ne connaît de cette époque que des formes anormales.

A côté des oiseaux, les mammifères, de leur côté, ont évolué. Déjà dans le trias ils sont représentés par les genres *Dromatherium* et *Microconodon*. Il s'y ajoute, pendant la période jurassique, de nombreux marsupiaux à dentition spéciale (1)

(1) Les genres TRICONODONTES : *Amphilistes, Phascolotherium, Triconodon* ; les genres TRITUBERCULÉS : *Amblotherium, Dryolestes, Amphitherium* du jurassique, *Pedromys, Didelphops, Crinolestes* du crétacé.

auxquels viennent se joindre, au crétacé, des genres nouveaux et les *Plagiaulax* pourvus de dents d'un nouveau type. Tous ces êtres ne semblent pas d'abord de grande importance, et ils n'en ont eu qu'une fort médiocre tant qu'il n'y a pas eu de saisons. Mais à la fin de la période crétacée les saisons s'accentuent. Les Oiseaux et les Mammifères ne sont pas touchés par cette modification du climat que nous avons vue agir si profondément sur les Insectes ; leur sang est à une température constante ; ils gardent pendant toute l'année la même activité et, comme les oiseaux couvent leurs œufs, tandis que les mammifères sont vivipares,les jeunes n'ont pas non plus à souffrir des variations de température. Il n'en est pas de même des Reptiles.

Tous les reptiles actuels ont une température intérieure qui suit les variations diverses de la température extérieure. Un excès de chaleur, un excès de froid les engourdissent et peuvent les tuer; ils ne prennent aucun soin de leur progéniture qui est plus exposée qu'eux-mêmes aux variations thermiques. Il n'y a aucune raison de penser qu'il en ait été autrement des grands reptiles d'autrefois. L'extrême petitesse de leur cerveau indique que c'étaient des êtres d'une grande stupidité; leur organisation n'était pas plus parfaite que celle des Crocodiles, par exemple, qui furent leurs contemporains; leur sang artériel et leur sang veineux se mélangeaient probablement, comme ils le font chez ces derniers; mais eussent-ils été plus parfaits, à cet égard, que cela ne leur aurait pas servi à grand'chose. La température intérieure est, en effet, fonction de l'activité et les stupides reptiles de la période secondaire ne pouvaient mouvoir que difficilement leur corps démesuré. D'autre part, ce qui conserve la chaleur dans le corps des organismes supérieurs, c'est la couche d'air immuablement conservée autour du corps par les plumes ou les poils : un lapin rasé meurt rapidement. Les grands reptiles de la période secondaire n'avaient aucun appareil de protection de ce genre, et la chaleur produite dans leur corps par leurs opérations respi-

ratoires se dissipait, non seulement par la surface du tronc, mais aussi par leur long cou et leur énorme queue. Tant que la température extérieure est demeurée peu variable et chaude, ils n'ont pas eu à souffrir de ces imperfections; les oiseaux et les mammifères n'avaient sur eux aucun avantage. Il n'en a pas été de même lorsque les écarts de température sont devenus plus grands; leur existence a été coupée par des périodes plus ou moins longues de sommeil, au cours desquelles ils se sont trouvés à la merci des animaux à température intérieure constante, mammifères et oiseaux, qui pouvaient garder en tout temps la même activité, et pour qui ils devenaient des proies faciles; ils étaient fatalement destinés à disparaître devant leur nombre croissant. La composition actuelle de la faune des reptiles fournit un argument puissant à cette explication. Tout ce qui était le couronnement de cette classe a disparu; il n'a persisté qu'un petit nombre d'espèces de crocodiles qui se cachent dans les eaux et sont d'ailleurs défendus par une solide cuirasse; des tortues qui, enfermées dans leur carapace, sont presque inexpugnables; des lézards bas sur pattes ou des serpents dénués de membres pouvant se dissimuler dans des trous, des interstices de rochers inaccessibles à la plupart des animaux chasseurs; d'autres doués de moyens spéciaux de protection, comme la couleur verte des *Dendrophis* ou serpents des arbres, l'aptitude des Caméléons à changer de couleur, ou pourvus d'armes aussi redoutables que perfides, comme le venin des Hélodermes parmi les lézards et surtout celui des serpents. Tout ce qui, parmi les reptiles, ne pouvait se dissimuler ou se défendre par traîtrise a disparu; la classe actuelle n'est composée que des échappés de la lutte pour la vie.

Sauf quelques scincoïdiens, tels que les Orvets, plusieurs serpents comme les Vipères et les serpents marins ou *Hydrophis*, les reptiles actuels pondent des œufs; les Ichthyosaures, et peut-être les *Compsognathus* étaient vivipares, mais on n'a aucune preuve que ce mode de reproduction, qui consiste

simplement dans l'éclosion des œufs ordinaires à l'intérieur des oviductes et qui dépend souvent de conditions extérieures plus ou moins passagères, fût plus répandu autrefois parmi les reptiles que de nos jours. Il est vrai qu'on n'a pas trouvé non plus jusqu'à présent d'œufs fossilisés de ces grands animaux qui devaient être cependant, comme les œufs des Crocodiles, protégés par une forte coquille. Quoi qu'il en soit, les jeunes comme les œufs étaient également exposés à la dent des mammifères assez petits et assez alertes pour échapper facilement à toute poursuite ou au bec des oiseaux que leurs ailes mettaient hors d'atteinte.

Au point de vue cérébral, les mammifères et les oiseaux sont déjà d'ailleurs autrement doués que les brutes colossales de la classe des reptiles. Ils étaient assez rusés pour se sauver à temps, à la moindre menace de leur part. De même que l'ensemble du système nerveux a donné aux Vertébrés la suprématie sur les autres animaux, le perfectionnement du cerveau va donner aux vertébrés à sang chaud la suprématie sur les vertébrés à température variable. Avec la période tertiaire, l'intelligence qui a déjà construit les instincts des insectes, mais s'est figée dans leur cerveau réduit, va rentrer en scène et s'élever peu à peu jusqu'à ce que, par elle, l'Homme domine le monde.

CHAPITRE III

LA VIE DURANT LA PÉRIODE TERTIAIRE

La surrection des chaînes pyrénéennes, alpines, himalayennes amène peu à peu le Globe à son état actuel. Les saisons s'accentuent. Les zones torride, tempérées, glaciales s'acheminent vers les limites que nous leur connaissons aujourd'hui, quoique les régions polaires soient toujours favorisées d'un climat tempéré. Les végétaux ont revêtu les formes qui dureront jusqu'à nous. Des protozoaires nouveaux, les Nummulites aux coquilles lenticulaires, arrondies comme nos pièces de monnaie, envahissent les mers en telle quantité qu'on a donné à la première moitié de l'ère tertiaire le nom de période nummulitique; elles se montrent d'abord dans les Pyrénées, en Istrie, en Égypte, dans des couches où l'on trouve encore quelques survivants des grands reptiles mosasauriens et dinosauriens tandis qu'on y voit apparaître, pour la première fois, et en abondance, en Patagonie, les plus anciens mammifères placentaires connus.

Au début de la Période éogène, qui correspond à la première moitié de l'ère tertiaire, l'Europe occidentale et l'Amérique du Nord étaient reliées par une bande de terre qui a pu comprendre l'Écosse, l'Irlande, les Cornouailles, la Bretagne, le Plateau Central, la Meseta ibérique, les côtes orientales de l'Amérique du Nord et qui parfois était disloquée en archipels. Les communications entre l'Europe et l'Amérique s'interrompent de temps en temps, notamment au milieu de la période néogène, pour reprendre momentanément vers la fin

de cette période, après quoi elles cessent complètement et l'Atlantique Nord se trouve ainsi constitué.

Le continent sino-sibérien demeurait isolé; peut-être fut-il la patrie des mammifères à doigts pairs, qui, à plusieurs reprises, se montrèrent brusquement en Europe à l'époque du lutétien et à celle du ludien, car les *Anoplotherium* existaient aussi en Asie à ce moment. Le continent africano-brésilien persistait encore : les Damans et les Oryctéropes, qui sont aujourd'hui localisés dans l'Afrique du Sud, vivaient, en effet, également en cette région de Patagonie où les Carolozittelidés et les *Pyrotherium* ne sont pas sans analogie avec les précurseurs des Éléphants découverts dans les couches du Fayoum en Égypte. Ce continent embrassait Madagascar, dont la faune présente de curieuses affinités avec celle de l'Amérique du Sud, et son bord septentrional se prolongeait jusqu'aux Antilles, comme l'indiquent les ressemblances de la faune de ces îles avec la faune méditerranéenne de cette époque.

Le continent australo-indo-malgache était en train de se diviser; mais tandis que l'Australie s'isolait définitivement, de sorte que sa faune est demeurée une faune de marsupiaux, l'Inde et Madagascar restaient réunis, ce qui explique la communauté des lémuriens à ces deux régions. La Tèthys s'étendait encore entre les continents nord-atlantique et sino-sibérien d'une part, les continents africano-brésilien, indo-malgache et australien d'autre part; elle coupait en deux, à la hauteur de l'isthme de Panama, le continent américain. Sur l'emplacement actuel de la partie de l'Atlantique qui s'étend de la mer des Antilles aux côtes franco-espagnoles, elle communiquait d'autre part avec la mer située entre l'Europe et le continent nord-atlantique par un canal intermittent qui ébauchait l'Atlantique Nord.

Les relations avec l'Amérique du Nord du continent européen, et celles de l'Amérique du Sud avec le continent africain suffisent à expliquer l'invasion simultanée des deux

Amériques par des mammifères placentaires sans qu'il soit besoin d'avoir recours au problématique continent pacifique.

En Europe, la mer couvrait, mais d'une faible épaisseur d'eau, le bassin de Paris, le bassin de Mayence et son prolongement vers le sud, la vallée du Rhin, la région de l'Europe orientale comprise entre la mer du Nord et la Caspienne, et séparait, en longeant le pied oriental de l'Oural, l'Europe de l'Asie. Elle abandonne ces contrées dès le début de l'époque néogène, mais continue à submerger l'Aquitaine et les côtes de Portugal. La région jadis occupée par la Tèthys est en grande partie exondée; il n'en subsiste que des parties basses que la mer envahit ou abandonne tour à tour et qui correspondent au sud de l'Espagne, à la portion de la Méditerranée qui longe ses côtes jusqu'à la Provence, s'étend sur l'emplacement des Alpes, gagne le bassin de Vienne, la région des Balkans, etc., ne laissant parfois subsister que d'étroits chenaux jusqu'au moment où la Méditerranée s'installe d'une manière définitive.

Durant la période néogène, le continent européen et le continent sino-sibérien s'unissent pour ne plus se séparer, de sorte que les mammifères d'Asie passent facilement en Europe et c'est même par l'Asie que des immigrations d'animaux africains se produisent en Europe. L'Amérique du Nord et l'Asie communiquent encore ensemble par le Spitzberg et le Groënland, mais un bras de mer sépare l'Europe de ce continent arctique. L'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud sont séparées; celle-ci cesse désormais d'être unie au continent africain, et Madagascar s'isole de l'Inde et de l'Australie. Le continent pacifique semble avoir disparu sous les eaux. En résumant toutes ces données, il se trouve qu'il existe un océan Arctique séparé de l'Atlantique par le continent que formaient l'Amérique du Nord, le Spitzberg, le Groënland et rejoignait l'Asie, et que l'Atlantique, le Pacifique et l'océan Indien étaient définitivement constitués.

Durant la période éogène, les alternatives d'exhaussement et

d'affaissement du sol laissaient passer des courants venant tantôt des mers arctiques, tantôt des mers tropicales et qui déterminaient sur les côtes un abaissement ou un relèvement plus ou moins durable de la température dont la moyenne demeurait cependant relativement élevée. La plus ancienne flore connue de cette période (1), celle de Gelinden, contient des saules, des quercinés (2), des renonculacées (3), des laurinées, des célastrinées, des ménispermées, etc., qui rappellent encore la flore crétacée. Un peu plus tard (4) la fontaine pétrifiante de Sézanne incruste les fleurs, les feuilles et les fruits de plantes dont les unes sont aujourd'hui des régions tempérées, les autres des régions tropicales, et plus tard encore, dans l'île de Wight (5), prospère une flore franchement tropicale; le climat s'est donc réchauffé. La flore tropicale se maintient encore plus tard (6) dans les grès à Sabalites, dans la région du Maine et dans le sud de l'Angleterre (7). A la fin de la période tertiaire (8), la température moyenne des régions arctiques était encore d'environ 12 degrés, d'après Oswald Heer. Au Spitzberg, à côté des osmondes, des prêles, des taxodiums, croissaient des peupliers, des platanes, des noyers, des ormes, des noisetiers, des *hamamelis*, des aulnes, des magnolias, des tilleuls, des viornes, des catalpas, etc., et il s'y ajoutait au Groënland des saules, des bouleaux, des *myrica*, des hêtres, des érables, des houx, des frênes, des aubépines, des pruniers, des nerpruns ou bourdaines, des rhubarbes, des lierres, des cornouliers et même de la vigne. Toutefois le refroidissement relativement à la période crétacée est nettement marqué par l'absence dans ces régions des palmiers qui deviennent moins nombreux en espèces, même en Europe.

Bien que ces questions aient été précédemment traitées (p. 32 et 59) à un autre point de vue, il était nécessaire de rap-

(1) Thanétien inférieur. — (2) *Dryophyllum*. — (3) *Dewalquea*. — (4) Thanétien supérieur. — (5) Lutétien. — (6) Auversien. — (7) Lattorfien. — (8) Néogène.

peler ici ces faits, en les précisant, pour rendre intelligibles les rapports que présentent entre elles les diverses faunes qui vont se succéder. Les Nummulites semblent une transformation d'un genre antérieur de foraminifères, les Operculines encore vivantes près desquelles viennent se placer les Assilines à tours moins embrassants. Les Nummulites sont tellement nombreuses qu'on a pu les utiliser pour déterminer les lignes de rivage des mers, et qu'elles ont fourni, en raison de leur vaste dissémination, le meilleur moyen de suivre, dans tout leur développement, les dépôts du même âge. Les différents types actuels d'Invertébrés sont constitués, et si leurs espèces présentent, comme médailles datant l'âge des diverses couches, un grand intérêt pour les géologues; s'il est souvent possible de suivre leurs transformations dans une série de couches, comme c'est le cas pour certaines Cérithes, et d'apporter ainsi à la doctrine de l'évolution un appui supplémentaire qui ne lui est pas, du reste, indispensable, elles n'ont, au point de vue auquel nous nous plaçons ici, qu'une importance secondaire. Nous recherchons, en effet, les causes de la formation des grands types organiques et les lois qui ont déterminé leur évolution; nous ne saurions entrer dans l'étude des accidents infiniment variés, et d'ailleurs le plus souvent inconnus, qui ont déterminé les caractères des espèces.

Parmi les Vertébrés, nous avons vu apparaître, évoluer et aussi souvent disparaître divers types de Poissons, de Batraciens, de Reptiles. A partir du crétacé, jusqu'au moment où ils se montrent presque aussi variés que de nos jours, l'évolution des Oiseaux est enveloppée d'une nuit profonde; elle a dû être d'ailleurs rapide, car issus d'une branche très spécialisée des Reptiles, ils ne diffèrent entre eux que par des caractères vraiment secondaires. Déjà à la fin de l'ère crétacée il y en avait qui avaient perdu leurs ailes et leur bréchet et qui, plus atteints par cette évolution rétrograde que les oiseaux inaptes au vol de la période actuelle, ne sauraient être considérés comme leurs ancêtres. Cela suffit à rendre fort sus-

pect le caractère naturel de l'ordre des Ratites. C'est cependant le seul où, en raison de l'absence de la faculté de voler qui les caractérise, on ait espéré trouver quelque indication de la forme ancestrale des oiseaux. Malheureusement si la faculté de voler se gagne, elle peut aussi se perdre, et il est souvent difficile de distinguer les formes régressives des formes initiales. Les plus anciens oiseaux tertiaires sont les *Gastornis*, les *Diatryma*, les *Dasornis*, les *Remiornis*, tous éocènes. Il n'y a aucune raison de placer celui de ces oiseaux qui vivait en France durant l'ère tertiaire, le *Gastornis*, en tête de leur arbre généalogique; quelques naturalistes en font soit une Oie, soit une Outarde de la grandeur des Autruches et incapable de voler. Les autres : les *Diatryma* du Nouveau-Mexique, les *Dasornis* de l'argile de Londres, les *Remiornis* des environs de Reims, sont très mal connus; on n'a découvert du premier qu'un métatarse, du second que des fragments de crâne, du troisième que des os incomplets. C'est trop peu pour qu'on en puisse tirer quelque conclusion relativement à l'organisation des oiseaux primitifs.

Le Dr Ameghino a exhumé des terrains miocènes de Santa-Cruz, en Patagonie, toute une série d'Oiseaux qui ont été groupés par MM. Moreno et Mercerat sous la dénomination de Stéréornithes; mais ce groupe paraît tout à fait artificiel. Des genres qui le constituent, les *Mesembriornis* semblent voisins des Nandous qui abondent encore dans l'Amérique du Sud; les *Dryornis* étaient des oiseaux de proie apparentés aux Condors; les *Dicholophus* se rapprochaient du Cariama et les *Phororhachos*, avec leur énorme crâne, leur mandibule supérieure terminée par un fort crochet et leur mandibule inférieure recourbée en dessus demeurent encore énigmatiques.

Peut-être les Autruches se rapprochent-elles plus que tous ces oiseaux fossiles du type initial. Les doigts de leurs ailes sont, en effet, moins éloignés de la forme ordinaire des doigts que ceux de tous les autres oiseaux; et elles présentent une sym-

physe pubienne, en quoi elles sont en retard sur les Dinosauriens orthopodes. Mais elles ont perdu trois doigts de leurs pieds, ce qui démontre qu'elles ont subi déjà d'importantes modifications; elles vivaient au miocène à Samos.

Les Nandous vivaient aussi dès le miocène, mais dans l'Amérique du Sud; ils ont comme les Autruches un bassin fermé, toutefois par une soudure des os ischiatiques, tandis que ce sont les pubis qui se soudent chez les Autruches; leurs pieds sont terminés par trois doigts; les doigts de leurs ailes ont déjà la conformation de ceux des oiseaux aptes au vol, et ils s'éloignent encore des Autruches par la constitution et la position de leur larynx vocal ou syrinx. Il est probable qu'ils n'appartiennent pas à la même série.

Le groupe des Casoars est représenté au pliocène par le genre *Hypselornis*; ces oiseaux ont des ailes extrêmement réduites, mais le squelette de ces ailes minuscules, avec ses deux doigts soudés, est celui d'oiseaux dégénérés qui ont perdu la faculté de voler.

Après ces Ratites, les oiseaux actuels qui présentent les caractères les plus primitifs sont les Tinamous de l'Amérique tropicale. Ils se distinguent par la soudure de leur vomer avec l'os palatin déjà indiquée chez l'Emeu et l'Apteryx, l'articulation de leur os carré avec le crâne par un seul condyle, l'absence de soudure des os iliaques et ischiatiques, l'indépendance de toutes les vertèbres caudales, mais ils ne sont pas connus à l'état fossile. Au miocène d'ailleurs, tous les types d'Oiseaux sont déjà représentés, comme l'ont montré les belles études d'Alphonse Milne-Edwards sur la faune de Saint-Gérand-le-Puy, dans l'Allier. Rien ne nous éclaire sur leur passé, de sorte que tout l'intérêt se concentre sur les Mammifères dont le merveilleux et graduel épanouissement durant la période tertiaire est un des plus beaux chapitres de l'histoire naturelle.

Depuis la période triasique, les Mammifères vivaient côte à côte avec les Reptiles, mais durant quatre millions d'années, ils

demeurent modestes, effacés et de petite taille. Comme les oiseaux, ils ne prennent toute leur importance qu'à partir du moment où celle des reptiles s'effondre, mais leurs progrès, au lieu de porter sur le détail, modifient le fond même de leur organisation et sont plus lents que ceux des oiseaux, de sorte que l'on peut suivre pas à pas leur évolution. Il ne faudrait pas croire cependant que cette évolution va se produire de manière qu'on puisse aller directement des formes anciennes aux formes actuelles, chaque genre fossile constituant un anneau d'une chaîne continue par laquelle elles seraient reliées. De nombreuses séries demeurent en dehors de cette chaîne; elles sont comme les rameaux d'arbres généalogiques indépendants, formant une véritable forêt vue d'en haut; dans laquelle il est extrêmement difficile de reconnaître les arbres, et, sur ces arbres, les branches auxquelles viennent se relier les formes actuelles.

Les petites formes qui ont apparu au trias (*Tritylodon*) se retrouvent avec leurs molaires à tubercules nombreux et leur coracoïde complet sous la forme des *Neoplagiaulax*, des *Polymastodon*, des *Ptilodon*, des *Chirox* dans les terrains nummulitiques du Nouveau-Mexique (1). Les Ornithorhynques et les Échidnés sont leurs représentants actuels : la dent cornée des Ornithorhynques est, en effet, précédée d'une ébauche de dent multituberculée. Confinés à la Nouvelle-Guinée, en Australie (2) et à la Nouvelle-Zélande ou même en Australie seulement (3), ces mammifères sont encore ovipares, et il est probable que les multituberculés l'étaient aussi. Par ce mode de reproduction, par la constitution de leur ceinture scapulaire, comprenant deux clavicules soudées en fourchette et, de chaque côté, un coracoïde et un os précoracoïde, comme celle des lézards, par leurs os marsupiaux, derniers restes des côtes ventrales, ces mammifères, qui constituent la sous-classe des MONOTRÈMES ou PROTHÉRIENS, ne s'é-

(1) Dans la vallée de San Juan (couches de Puerco et de Torrejon).
(2) Proéchidné et Echidné. — (3) Ornithorhynque.

loignaient guère des reptiles que par leurs téguments couverts de poils et très riches en glandes dont quelques-unes étaient déjà lactigènes.

Mais, à part les Thériodontes, les Reptiles se sont modifiés surtout dans le sens de la locomotion, gardant leurs dents simples, tranchantes chez les phytophages, pointues chez les carnivores. Les Mammifères, au contraire, ont évolué dans le triple sens de la gestation, de la dentition et de la locomotion. De plus, leur tégument flexible, sans cesse humecté, riche en glandes mais aussi en corpuscules sensitifs dont les poils eux-mêmes sont des annexes, a été pour eux la source d'excitations multipliées qui expliquent dans une certaine mesure le développement rapide qu'a pris leur appareil cérébral.

Au point de vue de la gestation, les mammifères vivipares actuels présentent deux stades dont l'un est certainement primitif et a conduit à l'autre. Dans le premier les jeunes se développent à l'intérieur du corps de la mère, dans une poche spéciale, la *matrice*, formée aux dépens des oviductes et qui leur sert uniquement d'abri. Ils sont mis au jour dans un état très peu avancé de développement et aussitôt placés dans une poche extérieure sous-ventrale, le *marsupium*, qui contient les mamelles auxquelles ils se suspendent immédiatement. Ces mammifères constituent la sous-classe des MARSUPIAUX, DIDELPHES ou MÉTATHÉRIENS. Ils ont gardé les os suspubiens des monotrèmes; mais leur épaule s'est singulièrement simplifiée ; elle se réduit aux clavicules et aux omoplates auxquelles s'est soudé, sous forme d'apophyse, tout ce qui reste du coracoïde atrophié. Les deux clavicules ne sont jamais soudées en fourchette. L'angle postérieur de leur mandibule est retourné en dedans.

Les autres mammifères forment la sous-classe des PLACENTAIRES, MONODELPHES ou EUTHÉRIENS. Les enveloppes embryonnaires des jeunes et la matrice de la mère entrent ici en union intime, au moyen de villosités très vasculaires, produites par l'embryon, qui s'enfoncent dans la paroi utérine, pour former

avec elle le *placenta,* grâce auquel les matériaux nutritifs du sang de la mère peuvent facilement filtrer dans le sang du fœtus. Les Euthériens n'ont plus d'os marsupiaux et l'angle de leur mandibule n'est jamais infléchi en dedans. Leur placenta peut être *discoïde* (en forme de gâteau), *zonaire* (en forme de manchon), *en cloche, diffus* ou *cotylédonaire.* La même forme de placenta caractérise des ordres entiers.

Mais, d'autre part, si l'on veut faire appel à ces formes du placenta comme moyen de classification, les Primates viennent se ranger singulièrement auprès des Insectivores et des Rongeurs; les Éléphants et les Damans herbivores voisinent avec les Carnassiers, les Lémuriens avec les Pachydermes, et l'ordre des Édentés est pulvérisé : les Oryctéropes et les Tatous ont un placenta zonaire comme les Damans; les Fourmiliers un placenta en cloche et les Pangolins un placenta diffus. La région de contact de l'allantoïde et du chorion qui fournit les villosités placentaires est petite chez les Insectivores et tout entière employée à leur formation ; elle est très étendue chez les Primates où les villosités se resserrent sur une partie de sa surface; il y a là une différence, mais il n'est pas impossible cependant que ces deux dispositions soient issues l'une de l'autre. Pour les autres séries zoologiques, il est vraisemblable que le placenta a été d'abord discoïde, puis est devenu zonaire et enfin diffus et cotylédonnaire. Aux Insectivores à placenta discoïde ont succédé les Carnassiers à placenta zonaire, l'évolution s'est arrêtée là. Les Rongeurs correspondent à l'état initial des végétariens ; les Éléphants et les Damans correspondent à la seconde étape; les Pachydermes et les Ruminants à la dernière. A l'appui de cette manière de voir on peut faire remarquer que les jeunes des animaux à placenta discoïde ou zonaire naissent incapables de s'alimenter et de marcher ; et que les herbivores qui ont un placenta diffus ou cotylédonnaire naissent à un état de développement très avancé et capables de marcher et de courir. Ce sont aussi les animaux dont les membres sont

le plus différenciés. Les Métathériens sont aujourd'hui confinés dans l'Amérique du Sud et l'Australie qui ne furent réunies qu'au temps du continent de Gondwana; il faut donc faire remonter jusque-là leur origine. Mais ils ont été, à un certain moment, cosmopolites. Les Euthériens ont apparu plus tard, probablement en dehors des régions où ont été actuellement refoulés les Métathériens et certainement, en tous cas, de l'Australie où ces derniers représentaient toute la faune des mammifères avant l'occupation par les Européens.

En commun avec les reptiles, les mammifères primitifs avaient des dents uniformes et quatre membres construits de la même façon, terminés chacun par cinq doigts. Placés dans les mêmes conditions d'existence, ils devaient nécessairement évoluer d'une façon analogue, si ces conditions ont été pour quelque chose dans leur évolution. Comme le faisaient les Reptiles théropodes de la période triasique, tous les Mammifères mâchent leurs aliments; leurs dents se sont appropriées de même aux diverses fonctions que cette habitude comporte: elles se sont divisées en dents coupantes ou *incisives*, dents d'arrachement ou *canines* et dents broyeuses ou *molaires*. Seulement les molaires, au lieu de demeurer simples et de se modifier seulement par l'élargissement de leur couronne comme chez presque tous les Théropodes, se sont constituées, comme chez les Cératopsidés, par la soudure de plusieurs dents dont les racines sont généralement demeurées séparées, mais dont les couronnes se sont confondues. On s'est appliqué à déterminer le nombre des dents soudées au moyen des tubercules de la couronne et l'on a même formulé cet adage : *Tot numeramus dentes quot tuberculia* (1), mais si dans la période de leur développement où elles sont réduites à leur émail, les dents peuvent se souder par leur couronne, dans les stades ultérieurs c'est le nombre des bulbes dentaires et, par conséquent, des

(1) Nous comptons autant de dents que de tubercules.

racines demeurées libres qui peut indiquer le nombre des dents soudées. Cette soudure se produit assez souvent d'une manière accidentelle entre les dents simples des Cétacés ; elle est évidente sur les molaires de certains marsupiaux, comme les Thylacynes. Toutefois il peut arriver qu'une dent composée puisse paraître n'avoir qu'une seule racine, c'est ce qui arrive pour l'incisive externe, toujours marquée d'une encoche, des Girafes et de l'Okapi. Cette incisive résulte de la soudure dans toute leur étendue de deux dents dont l'une est presque réduite à sa couronne. Il y a donc quelque prudence à apporter dans la numération des dents qui sont entrées dans la constitution d'une molaire, mais le fait de la constitution des molaires par soudure ne saurait être contesté, et il établit une distinction importante entre les reptiles théropodes et les mammifères.

Chez les Marsupiaux actuels toutes les molaires n'apparaissent pas simultanément. Après qu'une première dentition s'est établie, la dernière molaire tombe, est remplacée par une autre derrière laquelle se forment des molaires nouvelles. Chez les placentaires toutes les dents de la première dentition sont remplacées par d'autres, à la suite desquelles se forment de nouvelles molaires ; ce sont les *molaires* proprement dites ; les molaires remplacées sont dites *prémolaires*. Les dents se modifiant avec le régime, les Marsupiaux peuvent être divisés, d'après la forme des dents, en ordres correspondant exactement aux ordres adoptés pour les Placentaires, savoir : les CRÉOPHAGES aux carnassiers, les ENTOMOPHAGES aux insectivores, les RHIZOPHAGES aux rongeurs, les POÉPHAGES ou mangeurs de gazon aux herbivores. Cette correspondance n'implique pas que la forme et le nombre des dents, pour chaque groupe de marsupiaux, correspondent exactement à ce qu'on voit chez les placentaires. Chez les Créophages le nombre des paires d'incisives de la demi-mâchoire supérieure est de quatre ou cinq, il n'est jamais que de trois, au plus, chez les Mammifères ordinaires ; c'est pourquoi Richard Owen a appliqué aux premiers

la dénomination de POLYPROTODONTES. En revanche, les Carpophages et les Poéphages n'ont qu'une seule paire d'incisives à la mâchoire inférieure et ordinairement trois paires à la supérieure; Richard Owen en a fait le groupe des DIPROTODONTES. Entre les marsupiaux et les placentaires l'identité du régime alimentaire a parfois produit, en dehors des ressemblances générales que nous venons de signaler, des ressemblances de détail parfois frappantes. Les *Diprotodon*, par exemple, qui vivaient au début de la période actuelle en Australie, étaient des animaux de la grosseur d'un rhinocéros, ils avaient presque exactement une dentition de rongeurs. Leur mâchoire supérieure, privée de canines, s'allongeait en bec pour porter deux énormes incisives séparées des molaires par un grand espace vide, et immédiatement en arrière de ces grandes incisives, cachés par elles, ils avaient de petites incisives semblables à celles que l'on voit chez les lapins; seulement, au lieu d'une seule, il y en avait deux, l'une derrière l'autre.

Les membres ne subissent que des modifications peu importantes, et dans une direction toute particulière. Les pattes antérieures, servant souvent à la préhension, gardent leurs cinq doigts ; mais aux pattes postérieures d'espèces appartenant à des genres nombreux qui se nourrissent d'insectes ou de fruits le 2e et le 3e doigt sont soudés ensemble et relativement grêles ; cette disposition rappelle celle qu'on observe chez les Martins-pêcheurs, les Calaos et les autres oiseaux syndactyles; elle est due aux mêmes causes. Ces Marsupiaux vivent sur les arbres dont ils ont à saisir les branches, et, pour cela, le doigt le plus long joue le rôle principal ; les autres se serrent contre lui, se soudent et s'atrophient partiellement. Cette disposition est conservée et exagérée chez les Kanguroos sauteurs, dont le doigt médian est énorme, le pouce absent et les autres doigts étonnamment grêles et réunis par des téguments. Rien dans le genre de vie actuel des Kanguroos ne justifie cette organisation; elle s'explique si on considère ces animaux comme des-

cendants des marsupiaux grimpeurs, ce que vient confirmer l'existence de Kanguroos arboricoles, les Dendrolagues. Les Marsupiaux sont d'ailleurs demeurés bien loin des Placentaires, au point de vue de leur rôle général dans la nature. Dès le début de l'époque tertiaire, ceux-ci, doués d'un mode de reproduction très supérieur à celui des marsupiaux, ont partout pris sur eux l'avantage, se sont multipliés très rapidement, se sont prêtés aux conditions d'existence les plus variées et, vivant dans la sécurité et l'abondance, ont pu souvent, de génération en génération, hausser leur taille. Ils ont joué tous les rôles que les Reptiles ont remplis pendant l'ère secondaire, sans atteindre, sauf dans l'eau, à leurs dimensions, mais en les dépassant de beaucoup, tant au point de vue de l'agilité que de l'intelligence. Comme les Reptiles, ils sont les uns carnassiers, les autres herbivores. Les carnassiers sont plantigrades ou digitigrades, sans que d'ailleurs les membres présentent de grandes modifications; les herbivores non seulement se hissent sur leurs doigts, mais arrivent, ce que n'ont jamais fait les Reptiles, à se dresser sur le bout de leur dernière phalange autour de laquelle l'ongle se développe de manière à former un sabot; ils sont alors onguligrades et constituent l'ordre des ONGULÉS. Comme les Reptiles d'ailleurs, ils s'emparent aussi du domaine de l'air et de celui de l'eau. Nous avons vu comment les mammifères grimpeurs appartenant à tous les ordres avaient acquis des parachutes; ils conduisent aux chauves-souris qui construisent leurs ailes sur le type des ptérosauriens de l'époque secondaire, mais avec plus de perfection puisque quatre de leurs doigts, au lieu d'un seul, sont employés à soutenir leur membrane. Il semble même que ce résultat ait été obtenu deux fois, c'est-à-dire par deux types de mammifères différents, car les grandes roussettes frugivores et sans queue des pays chauds sont assez différentes des chauves-souris ordinaires qui sont insectivores et dont la longue queue est englobée dans la membrane alaire.

Par deux fois aussi, les mammifères placentaires arrivent à conquérir un droit absolu de cité dans les océans, comme l'ont fait les Ichthyosaures auxquels ils ressemblent, mais qu'ils dépassent aussi dans la perfection de leurs adaptations. Des herbivores arrivent ainsi à constituer l'ordre des Sirénides qui ont conservé la mobilité de leur coude ; des carnivores ont constitué l'ordre des Cétacés qui n'ont plus de mobile que l'épaule. Dans les deux cas les membres postérieurs ont disparu, la queue étant devenue un puissant moteur. Les Sirénides ont des mamelles pectorales et sortent à demi de l'eau pour allaiter leurs petits. Par une brusque contraction musculaire, les Cétacés projettent leur lait dans la bouche de leurs jeunes qui ne tettent pas ; leurs mamelles sont inguinales. Peut-être même un troisième type a-t-il présenté cette même adaptation à la vie aquatique. Les Phoques sont des carnassiers d'un type élevé qui ont conservé leurs quatre membres avec une forme moins éloignée de la forme ordinaire des pattes que les palettes natatoires des Sirénides et des Cétacés copiées, sur les rames des Ichthyosaures. Or, à la période éogène, vivait en Europe, dans l'Alabama et à la Nouvelle-Zélande, un énorme mammifère nageur, le *Zeuglodon*, qui pouvait, tout comme nos Baleines et nos Cachalots, atteindre 30 mètres de long, était dépourvu de membres postérieurs, avait probablement une queue pointue et non plate comme celle des Cétacés, et des dents molaires à deux racines, rappelant singulièrement celles des phoques, alors que chez les Cétacés toutes les dents sont semblables entre elles et n'ont qu'une seule racine.

Nous avons à voir maintenant comment se sont groupées ces formes diverses aux époques successives de l'ère tertiaire.

Les lois de modification des membres sont simples et précises. En se bornant à l'aspect extérieur on peut dire que, quel que soit le régime, toutes les séries commencent par des formes dont le pied repose tout entier sur le sol, qui sont par consé-

quent *plantigrades*. Puis le pied se relève peu à peu, de manière que les doigts portent seuls sur le sol; dans ces conditions, les doigts les plus courts arrivent à ne plus toucher terre; ils sont sans usage et tendent à disparaître; mais cette disparition est plus précoce au membre postérieur qu'au membre antérieur. Celui-ci est souvent utilisé pour divers usages, alors que le membre postérieur est toujours plus spécialisé dans la fonction locomotrice; c'est le membre propulseur par excellence, et ceci n'est pas particulier aux mammifères; si bien que l'on peut formuler cette proposition: *Chez les quadrupèdes terrestres, les pattes de derrière, plus spécialement utilisées pour la propulsion, sont plus développées et plus modifiées que les pattes antérieures.* C'est, en général, le contraire pour les vertébrés aquatiques: la queue jouant un rôle considérable dans la propulsion, les membres postérieurs inutilisés se réduisent (Poissons subbrachiens, Ichthyosaures) ou disparaissent (Sirénides, Cétacés, Sirène lacertine, Anguilles, etc.).

Les modifications que subissent les membres chez les Carnassiers sont peu importantes; les formes plantigrades sont nombreuses et gardent leurs doigts à toutes les pattes; chez les formes digitigrades, les chiens et les chats n'ont que quatre doigts aux membres postérieurs, cinq aux antérieurs; les Hyènes n'ont plus que quatre doigts à toutes les pattes, et c'est tout. Les choses vont beaucoup plus loin chez les Herbivores. Les doigts des Carnassiers, plus ou moins utilisés pour saisir ou retenir des proies, se terminent par des griffes. Il en est de même chez les Insectivores dont les pieds demeurent pentadactyles; chez les Rongeurs au contraire le nombre des doigts descend souvent à quatre ou même à trois et la constitution de la patte postérieure tridactyle des Gerboises rappelle par la soudure des métatarsiens la patte des oiseaux.

Déjà quelques Rongeurs (Cabiai) ont l'extrémité des doigts revêtue par des ongles qui ressemblent à des sabots. Ils

semblent ainsi conduire aux Ongulés qui arrivent à ne marcher que sur l'extrémité de leurs doigts et chez qui les membres atteignent au plus haut degré de réduction de ceux-ci ; l'arrangement des os du carpe et du tarse subit alors des modifications remarquables. Ces os sont disposés sur deux rangées. Dans le carpe, la première comprend trois os : l'un d'eux, le *scaphoïde*, s'articule avec le radius, aussi le désigne-t-on également sous le nom de *radial* ; tandis qu'un autre, le *cunéiforme* ou *pyramidal*, s'articule avec le cubitus et peut dès lors être appelé *cubital*; entre les deux s'intercale l'*intermédiaire* ou *semilunaire*. Les os de la seconde rangée se placent exactement au-devant d'eux : le radial supporte le *trapèze* et le *trapézoïde*, l'intermédiaire, le *grand os*, le pyramidal l'*unciforme* ou *os crochu*, qui résulte lui-même de la soudure des 4e et 5e os de cette rangée. Chacun de ces os supporte exclusivement un doigt, sauf l'os crochu qui est double et en supporte deux. De cette façon les os des doigts et ceux du carpe se disposent jusqu'à ceux des bras en séries longitudinales dans lesquelles chaque os ne contracte d'union qu'avec celui qui le précède et celui qui le suit et demeure indépendant latéralement. Cette disposition *sériée* des os du carpe n'a pas grand inconvénient et peut même être avantageuse chez des animaux à démarche lourde dont le pied appuie sur le sol toute sa face inférieure qui peut ainsi en épouser les irrégularités ; elle expose au contraire à des luxations les animaux à course rapide dont le pied ne pose sur le sol que par l'extrémité des doigts et qui, à chaque bond, retombent brusquement sur cette extrémité. Aussi est-elle déjà modifiée, même chez les formes plantigrades les plus anciennes, au membre postérieur. Ici le *tibial* et l'*intermédiaire* se soudent pour former l'*astragale* qui s'articule avec le tibia; le *fibulaire* ou *péronéal*, qui suit le péroné, se développe surtout en arrière et constitue le *calcanéum* ou os du talon ; un os spécial, le *naviculaire*, représente l'os central des Batraciens, et un os indépendant, le

pisiforme, est le reste peut-être d'un sixième doigt demeuré toujours rudimentaire. Au-devant de ces os de la première rangée se disposent les cinq os de la deuxième rangée dont trois, les *cunéiformes*, demeurent indépendants et deux se soudent pour former le *cuboïde*. A partir de ces derniers seulement la sériation apparaît, chaque cunéiforme portant un doigt et le cuboïde deux. Mais cette sériation demeure caractéristique d'un groupe de mammifères, qui n'a pas dépassé la période éocène et pour qui a été constitué par Cope l'ordre de CONDYLARTHRES. Ses principaux représentants sont des animaux exclusivement ou principalement américains : les *Periptychus* encore plantigrades et les *Phenacodus* à demi digitigrades, de la taille d'un gros mouton. Elle se modifie déjà chez les grands Ongulés tous éocènes, encore à demi plantigrades et conséquemment toujours pourvus de leurs cinq doigts, réunis par Cope sous le nom d'AMBLYPODES. Chez eux les os de la seconde rangée du carpe chevauchaient légèrement sur ceux de la première, et les métacarpiens alternaient régulièrement avec eux, de manière à s'appuyer sur deux d'entre eux dont ils maintenaient l'union.

Dans cet ordre, qui s'est épanoui surtout dans l'Amérique du Nord, viennent se ranger les *Pantolambda*, les *Coryphodon*, les *Loxolophodon* dont le crâne avait plus d'un mètre de long, les *Dinoceras* de la taille d'un hippopotame, armés puissamment, comme les précédents, de cornes et de canines dont il sera question plus loin. Les pieds courts demeurent tous de quatre à cinq doigts qui portent également sur le sol chez les *Mœritherium*, *Palæomastodon*, divers précurseurs des Éléphants et les Éléphants eux-mêmes qu'on a réunis dans un ordre des BARYPODES, où la dentition subit une réduction considérable. On assiste enfin à une diminution graduelle du nombre des doigts, coïncidant avec des modifications importantes de la dentition chez de lourds animaux à tarse et à carpe sériés, comme ceux des Condylarthres que Burmeister a réunis dans

l'ordre des Toxodontes. Les *Homalodontherium* et *Prototypotherium* sont encore pentadactyles; il n'y a plus que quatre doigts aux pattes postérieures des *Typotherium*; la réduction gagne les membres antérieurs chez les *Toxodon*. Enfin chez les Damans, de la grandeur d'un lapin, qui représentent tout cet ordre de nos jours, il n'y a plus que trois doigts en arrière et quatre en avant. Nous arrivons ainsi aux ordres où le redressement du pied étant parvenu au maximum, l'animal ne laisse reposer sur le sol que l'extrémité des doigts les plus longs.

Si le troisième doigt dépasse suffisamment les autres, il supporte seul le poids du corps; on appelle Périssodactyles les Ongulés qui sont dans ce cas. Si le troisième et le quatrième doigts sont presque égaux, ils se partagent le travail de sustentation; ils arrivent à se ressembler presque absolument; le pied prend alors la forme *fourchue* qui caractérise les Artiodactyles. Dans les deux cas les doigts latéraux tendent à disparaître par défaut d'usage, et on peut suivre toutes les étapes de leur régression. Dans l'ordre des Périssodactyles, où le pied arrive à se réduire à un seul doigt chez les Chevaux, la réduction et la disparition des doigts ne s'est produite qu'après que les os du carpe et du tarse ont continué à se déplacer pour se soutenir mutuellement, en s'empilant et s'articulant les uns sur les autres; ils peuvent se souder entre eux, mais ne disparaissent pas. Il n'en est pas de même chez les Artiodactyles: la réduction s'est produite dans une première série de formes, alors que les carpes et les tarses étaient encore sériés; les os du carpe et du tarse qui leur correspondaient se sont réduits ou ont disparu comme eux: les pieds et les mains ont gardé toute leur fragilité. C'est ce que Woldemar Kowalevsky, frère du célèbre embryogéniste, a appelé la *réduction inadaptative*. Les Artiodactyles qui l'ont subie ont tous disparu dès la période miocène: c'étaient les *Dichobune* et les *Hyopotamus* pourvus de quatre doigts; les *Anoplotherium*, animaux aquatiques, qui n'en avaient que deux aux membres antérieurs,

avec un troisième très réduit aux membres postérieurs ; les *Xiphodon*, plus sveltes que nos Gazelles, qui n'en avaient plus que deux à toutes les pattes et dont les molaires avaient, une première fois, pris l'aspect de celles des Ruminants, bien qu'on ne puisse considérer les *Xiphodon* comme leurs ancêtres. C'étaient aussi les *Anthracotherium*, les *Chœropotamus*, les *Hyotherium* apparentés à la fois aux Sangliers et aux Pécaris, et surtout les *Entelodon*, de la taille d'un Rhinocéros. Chez les formes qui ont persisté et qui ont conduit d'une part aux Porcins, d'autre part aux Ruminants, les têtes des troisième et quatrième métacarpiens se sont élargies comme si elles s'étaient écrasées sous le poids de l'animal ; elles ont empiété sur les os carpiens qui soutiennent les doigts latéraux, et ont ainsi assuré la conservation de ceux-ci. Quand la réduction du nombre de doigts n'a commencé qu'après cette modification, W. Kowalevsky l'appelle *adaptative*. C'est celle que présentent les Hippopotames, les Sangliers, les Pécaris et les autres Porcins actuels. Chez ces animaux les métacarpiens et les métatarsiens ne sont jamais soudés. Ils ne le sont pas non plus chez les Ruminants primitifs. La série de ces derniers commence avec les *Oreodon*, issus vraisemblablement de Condylarthres voisins des *Pantolestes* et qui ont encore, avec une dentition complète, cinq doigts aux pattes de devant, quatre aux pattes de derrière ; le pouce est déjà petit et les quatre doigts persistants sont égaux entre eux. Les *Oreodon* sont apparentés de très près aux ancêtres des Camélidés dont les premiers représentants sont les *Leptotragulus* de l'Éocène de l'Amérique du Nord, qui ont encore quatre doigts aux membres antérieurs et des métatarsiens latéraux sans doigts aux membres postérieurs. Les *Pœbrotherium* de l'Oligocène américain n'ont plus que deux doigts et deux métacarpiens rudimentaires aux membres antérieurs. Les métacarpiens et les métatarsiens se soudent en un seul os, le *canon* chez les *Protolabis* du Miocène et les *Procamelus*. Cette même soudure a été réalisée dans une

autre série de Ruminants tout à fait indépendante. Dans ses formes initiales il existe, à chaque pied, quatre doigts complets, mais dont deux seulement touchent le sol ; il n'y a pas de soudure des métacarpiens chez les *Dorcatherium* et les *Hypertragulus* qui sont miocènes. Cette soudure s'accomplit chez les *Gelocus*, également miocènes, pour les métatarsiens, et chez les *Hyœmoschus* qui vivent encore dans l'Afrique occidentale ; elle est complète chez les *Tragulus* qui sont pliocènes. Chez tous les autres Ruminants les métacarpiens et les métatarsiens sont respectivement soudés en un canon. Il existe encore deux doigts latéraux chez les Cervidés et les Bovidés. Mais leurs métacarpiens et leurs métatarsiens sont plus ou moins incomplets, réduits souvent à de simples stylets ; il n'y a plus aucune trace des doigts latéraux chez les Ovidés. Ils font également défaut chez les Girafes, les *Sivatherium*, les *Samotherium*, du Miocène de Samos, les *Helladotherium*, les Okapis, bien que ces formes soient, au point de vue des cornes, moins évoluées que les Cervidés. Les pattes sont alors entièrement consolidées, et ne contiennent plus rien d'inutile. Si l'animal n'avait pas, au préalable, immobilisé ou à peu près, par un acte volontaire transformé en habitude, ses métacarpiens et ses métatarsiens, leur soudure elle-même, preuve de l'immobilisation des os du carpe et du tarse, n'aurait pu se produire. La part de son intervention dans les modifications de son organisme apparaît ici nettement.

Les Périssodactyles présentent des réductions des doigts parallèles à celle des Artiodactyles ; ils ont pour ancêtres communs les *Phenacodus* à cinq doigts, avec carpes et tarses sériés. Cette sériation se conserve chez les Titanothéridés de l'Amérique du Nord (*Lambdotherium*, *Palæosyops* ; *Diplacodon* de l'Éocène) qui, avec les *Titanotherium*, atteignent, au miocène, la taille de l'Éléphant ; ces animaux avaient quatre doigts aux pieds de devant, trois aux pieds de derrière et portaient au-dessus du nez une paire de volumineuses protubérances soutenant

sans doute des cornes analogues à celle des rhinocéros. Les *Macrauchenia* et les Protérothéridés n'avaient plus que trois doigts à tous les pieds ; ils habitaient l'Amérique du Sud et constituaient une série qui fait suite immédiatement aux Condylarthres. Dans une autre série les os du carpe et du tarse cessent d'être sériés. Cette série commence à l'Éocène avec les *Hyracotherium*, de la taille d'un Renard, qui apparaissent en Amérique et y deviennent les *Pachynolophus* et les *Propalæotherium* représentés, en Amérique, par les *Orohippus*, les *Eohippus* de Wasatsch et les *Epiphippus* de l'Uriste en Amérique, qui ont quatre doigts en avant, trois en arrière. C'est aussi le nombre des doigts des Lophiodontidés d'Europe et de l'Éocène américain (*Lophiodon*, *Heptodon*, *Helaletes*), des Tapiridés qui en diffèrent par les caractères de leurs molaires (*Systemodon*, *Hyrachyus* et *Tapiravus* d'Amérique, *Protapirus* et *Tapirus* d'Europe). Mais déjà les quatre pieds ne possèdent plus chacun que trois doigts, tous appuyant sur le sol chez les *Palæotherium* et *Paloplotherium* de l'Éocène d'Europe, dont plusieurs espèces ont laissé leurs restes dans le gypse de Montmartre. Ces animaux avaient l'allure des Lamas ; leur radius et leur péroné étaient complets et ils avaient un rudiment du cinquième métatarsien. De même les Rhinocéros, qui sont arrivés jusqu'à nous, ont débuté dans l'Éocène de Wyoming et de l'Uinta avec le genre *Amynodon*, et ont, sauf quelques exceptions (*Acerotherium*, *Diceratherium*), tous les pieds tridactyles.

La réduction des doigts continue dans la série des Équidés dont les molaires sont marquées d'une crête médiane longitudinale. Les trois doigts sont encore presque égaux et touchent le sol chez les *Mesohippus* de l'Oligocène américain, dont le péroné commence à se réduire. Le doigt médian devient tout à fait proéminent chez les *Miohippus* américains qui émigrent en Europe au Miocène, où ils constituent le genre *Anchitherium*, du Miocène moyen de France et d'Allemagne. Cette pré-

dominance s'accentue, et les doigts latéraux cessent de toucher le sol chez les *Merychippus* et les *Hippotherium* américains, ainsi que chez l'*Hipparion* européen du miocène supérieur. Enfin il ne reste plus qu'un seul doigt fonctionnel chez les *Protohippus* et *Pliohippus*. Ces derniers gagnent l'Amérique du Sud où ils donnent naissance aux *Hippidium* et aux vrais Chevaux qui se répandent peu à peu dans les Deux-Mondes tandis qu'ils s'éteignent dans l'Amérique du Sud.

Chez tous ces animaux, le pied ne pouvant plus éprouver aucun mouvement de rotation par rapport à la jambe, les muscles qui s'attachent au péroné et qui déterminent ces mouvements de rotation n'ont plus d'usage; ils s'atrophient, comme le prévoit la doctrine de Lamarck, et entraînent l'atrophie graduelle du péroné auquel ils se fixaient. Pour une raison semblable, au membre antérieur, le radius, qui correspond au péroné, se soude entièrement avec le cubitus.

En résumé, les mêmes tendances se retrouvent dans l'évolution des membres chez les Mammifères et les Reptiles : dans les deux classes l'animal terrestre arrive à pénétrer dans les autres milieux offerts à son activité : l'eau d'où ses ancêtres sont cependant sortis, l'air d'où son poids semblait devoir l'exclure, et il parvint à s'y mouvoir par des procédés très analogues. Sur la terre, son évolution, à part quelques adaptations spéciales, celle à la vie souterraine ou celle à la vie arboricole, par exemple, est dominée par deux soucis, celui de voir au plus loin et celui de courir le plus vite possible, qui le font se dresser sur ses membres. Dans les deux cas, l'intervention de la volonté de l'animal, en vue d'atteindre un but déterminé, est évidente. Les modifications qui en résultent ne sont pas liées à un régime alimentaire étroitement déterminé; les modifications des dents ne suivent donc pas strictement celles des membres.

Les plus anciens Mammifères placentaires avaient ce qu'on appelle une dentition complète, soit 44 dents, 11 à chaque demi-mâchoire, savoir : 3 incisives, 1 canine, 4 prémolaires,

3 molaires. Cette dentition se retrouvera au début des séries des Herbivores, des Insectivores, des Carnassiers; elle subira des réductions, mais jamais de multiplication, sauf quand les éléments des molaires se dissocieront, comme chez les Cétacés. On doit donc la considérer comme la dentition primitive des Mammifères placentaires, et sa généralité conduit à penser que tous ces animaux descendent d'un même type initial qui existait déjà probablement au cours de la période crétacée, mais n'a pas été retrouvé.

Les incisives et les canines, les premières à bord tranchant, les secondes pointues, n'ont qu'une racine et s'éloignent peu de la forme des dents des Reptiles. Ce sont des dents qui coupent ou arrachent, excitent vivement dans ces actions le germe qui les a produites et le maintiennent en activité; leur croissance arrive ainsi à être continue, notamment chez les animaux qui s'attaquent à des substances dures telles que le bois. Ce phénomène s'est déjà réalisé une première fois chez les *Diprotodon* (p. 346) qui sont des Marsupiaux; il se renouvelle à l'époque éocène chez les Tillondontes, chez qui la première et la seconde incisive (*Psittacotherium*), ou la seconde seulement (*Estonyx*), *Tillotherium*, ou même la troisième (*Stylinodon*), prennent un grand développement ; les autres se rapetissent toujours beaucoup ou même disparaissent (*Tillotherium*). Chez les Rongeurs, la deuxième incisive est fort développée, la première et la troisième s'atténuent ou disparaissent; chez les Lièvres, les Lapins et les formes analogues, la mâchoire supérieure de chaque côté présente deux incisives, l'une grande, l'autre petite, situées l'une derrière l'autre; cette petite incisive disparaît chez les autres Rongeurs. Les Toxodontes ont aussi des incisives très inégalement développées (*Nesodon*) ou même réduites à deux paires (*Toxodon*). Le même fait se produit dans la série qui conduit aux Proboscidiens, qui, outre une trompe, possèdent d'énormes incisives constituant des défenses.

Ici, grâce aux découvertes faites en Égypte, dans la région du Fayoum, il y a une vingtaine d'années, on peut suivre pas à pas cette transformation, préciser les causes qui l'ont déterminée et ont amené, par contre-coup, le développement de la trompe. Dans cette région, vers le milieu de la période éocène, vivait le *Mœritherium*, de la grandeur d'un Tapir, dont la deuxième paire d'incisives prenait à chaque mâchoire un développement considérable; les grandes incisives de l'une des mâchoires s'appuyaient par leur extrémité sur celles de l'autre, et cette pression réciproque tendait à les ramener dans le prolongement des mâchoires. Les autres incisives et les canines supérieures étaient rudimentaires; elles avaient déjà disparu de la mâchoire inférieure. Le *Mœritherium* avait soit une longue lèvre supérieure mobile comme celle des *Rhinoceros*, soit une courte trompe comme celles des Tapirs. Un peu plus tard, vivaient dans la même région les *Palæomastodon*; ils n'avaient plus que deux incisives énormes à chaque mâchoire et pas de canines; chez les *Palæomastodon* les incisives inférieures, devenues presque horizontales, ne s'usaient plus à leur extrémité et s'allongeaient par conséquent beaucoup; les incisives supérieures tendaient nettement à leur devenir parallèles; un pas de plus et on arrive aux quatre grandes incisives horizontales, deux supérieures, deux inférieures, des *Tetrabelodon* et des Mastodontes. Tous ces animaux avaient une trompe; celle des Mastodontes reposait et sur les défenses, par conséquent, ne pouvait pas s'enrouler autour des objets comme celle des Éléphants; elle ne saisissait que par son doigt terminal. Dès lors on se rend compte du mécanisme qui a présidé à la formation de ce singulier appendice. C'était d'abord une simple lèvre mobile et préhensile comme celle des Rhinocéros. A mesure que les incisives s'allongeaient, les efforts de l'animal pour continuer à saisir sa nourriture au delà de leur extrémité, à l'aide de sa lèvre supérieure, devaient amener une élongation graduelle de celle-ci, qui,

s'allongeant toujours au delà des incisives transformées en défenses, est devenue énorme et a constitué la trompe des Mastodontes, préhensile seulement par son extrémité ; de ceux-ci, par la disparition des incisives supérieures, ont dérivé les immenses *Dinotherium,* et par la disparition des incisives inférieures les Éléphants. Chez les *Dinotherium* les défenses inférieures, d'abord refoulées vers le bas par les supérieures, ont fini par pousser verticalement, l'animal s'en servant commes de pioches. Chez les Éléphants les incisives supérieures se sont écartées, laissant entre elles un espace vide. Dans les deux cas, la trompe, devenue libre, a pu se dresser ou s'abattre, à la volonté de l'animal, et servir aux usages les plus variés.

Les animaux que nous venons d'énumérer compensent l'énorme développement des incisives par la perte des canines. Ce sont, au contraire, les canines qui deviennent énormes à la mâchoire supérieure des Dinocératidés. Elles sont très longues et aplaties en lame d'épée chez les *Dinoceras*, recourbées en demi-cercle chez les *Loxolophodon.* Ce grand développement des canines supérieures a pour contre-partie la disparition des incisives de la même mâchoire. On pourrait rapprocher ce fait de la disparition des incisives supérieures chez les Chevrotains où le mâle est muni d'une paire de canines énormes tandis que les incisives disparaissent, et de la sorte la disparition des incisives à la mâchoire supérieure rentrerait dans la règle. Une fois cette disparition réalisée chez les Chevrotains, elle aurait été conservée, par hérédité, chez les autres Ruminants, tels que les Cervidés dont les mâles conservent encore une canine.

Employées à la trituration des aliments, les molaires se modifient naturellement avec l'usage qu'en fait l'animal, et arrivent à être plus étroitement adaptées à la consistance des aliments que les incisives et les canines. Leur nombre primitif qui est de sept : quatre prémolaires et trois molaires, peut se

réduire, mais elles ne disparaissent jamais chez les animaux qui mâchent leurs aliments. Issues de la soudure de plusieurs dents telles que les dents simplement préhensiles des Reptiles, elles ont naturellement au début une couronne à surface large et mamelonnée, d'autant plus que cette couronne elle-même peut déjà présenter chez les Reptiles certaines complications de surface, comme on l'a vu chez les Thériodontes. Les mamelons ou tubercules de leur surface peuvent se rejoindre de manière à former des collines transversales par rapport à la direction de la mâchoire (Mastodontes, Tapirs, etc.), ou des crêtes longitudinales (Carnassiers). Ce résultat acquis, on peut, dans une première approximation, réunir tous les faits essentiels dans une formule telle que celle-ci :

Les modifications subies par les dents, à mesure que les générations se succèdent, se produisent comme si les adultes transmettaient à leurs descendants les formes qu'elles ont acquises, au cours de leur existence, par l'usure et par l'usage.

A mesure qu'un Mammifère adopte un régime de plus en plus carnassier, les molaires de la mâchoire inférieure se croisent avec celles de la mâchoire supérieure comme les lames d'une paire de ciseaux et deviennent tranchantes par l'amincissement du bord supérieur de leur couronne. On passe ainsi des molaires tuberculeuses des Ours à celles uniquement tranchantes des Chats. Au contraire, chez les Mammifères se nourrissant d'aliments d'origine végétale et qui sont généralement durs, les couronnes des molaires des deux mâchoires s'opposant l'une à l'autre s'aplanissent et présentent une large surface broyeuse, parcourue par des rubans d'émail. C'est ainsi que les molaires à collines transversales saillantes des Mastodontes deviennent chez les Éléphants des dents à couronne plate, sur laquelle l'émail se dispose en losanges (*Loxodon* ou Éléphant d'Afrique) ou en ellipses aplaties (*Elephas* ou Éléphant d'Asie). De même les dents à tubercules saillants

des *Palæotherium* et des *Anchitherium* sont remplacées par les dents à surface plane des Chevaux où des rubans d'émail à contour, en apparence capricieux, dessinent la base des tubercules primitifs. Les dents tuberculées des Rhinocéros aplatissent leur couronne, tandis que leur fût s'allonge, et deviennent ainsi, comme l'a fait remarquer M. Boule, les dents planes à fût allongé des *Elasmotherium*. Chez les Rongeurs, on observe tous les passages entre les dents mamelonnées des Marmottes et les dents disposées en râpe plane des Cabiais, des Castors, des Loirs, etc. Les Mammifères omnivores à pied fourchu, dont nos Sangliers sont le type, ont gardé les dents mamelonnées des *Anthracotherium*, et Woldemar Kowalevsky a créé pour eux le sous-ordre des BUNODONTES ; ces dents sont remplacées chez les formes herbivores qu'il a appelées SÉLÉNODONTES, par des dents à couronne plate, formée de croissants juxtaposés qui représentent les bases des mamelons usés des Bunodontes. Mais comme le propre de l'usure est de faire disparaître l'émail de la surface des dents et que l'émail se produit ici comme d'habitude, il est évident qu'il ne saurait être question d'un héritage réel de l'usure. En réalité, suivant l'emploi que fait l'animal de ses dents en voie de croissance, le germe dentaire prend une forme dépendant des pressions qui lui sont transmises. Des dents supérieures et inférieures qui appuient constamment l'une sur l'autre doivent amener un aplatissement de la surface du germe qui aura pour résultat de lui faire produire une dent plate, simulant une dent usée, avec des tubercules réduits à leur base, simulant, eux aussi, des tubercules usés, et il en est de même dans le cas des compressions latérales des Carnassiers.

L'influence du développement croissant de certaines dents sur leurs voisines, déjà signalée à propos des incisives et des canines, se retrouve pour les molaires chez les Carnassiers. Ici les molaires qui travaillent le plus sont celles qui sont situées au voisinage de l'insertion sur les mâchoires des muscles masticateurs. Elles grandissent, deviennent tranchantes, si bien

qu'elles ont mérité d'être distinguées sous le nom de *carnassières*; elles sont déjà nettement caractérisées chez les Chiens dont quelques-uns ont encore quarante-quatre dents. On voit alors les autres molaires décroître aussi bien en avant qu'en arrière, à partir de la carnassière, et disparaître une à une à mesure qu'on passe des Carnassiers de la famille des Chiens, à ceux qui sont apparentés aux Civettes, aux Martres et aux Chats; leur nombre tombe ainsi de sept à deux (*Machœrodus*).

La réduction du nombre des dents reconnaît cependant d'autres causes que l'excès de croissance de certaines d'entre elles. Les Ruminants parmi les herbivores en sont un premier exemple. Ces animaux, on l'a vu, paraissent issus des *Oreodon* de la période oligocène, qui ont déjà des molaires de Ruminants, mais cinq doigts dont un très petit aux pattes antérieures et quatre aux postérieures; ils descendent vraisemblablement des Condylarthres (*Pantolestes*), et sont suivis des *Cœnotherium* dont la dentition est encore complète, mais où il se produit entre les incisives et les molaires un espace vide, une *barre* ou *diastème*, dans laquelle la canine occupe une position variable. Chez leurs successeurs la mâchoire inférieure conserve, malgré cette barre, sa dentition complète; seulement la canine va se placer tout contre les incisives dont elle prend la forme, et la première prémolaire, à racine très réduite, va se souder à elle, ce qui la fait paraître échancrée sur sa tranche chez les Girafidés (Girafe, *Okapi*); il semble ainsi qu'il n'y ait que six molaires en tout et c'est le nombre qui persiste chez les autres Ruminants. Les choses sont plus compliquées à la mâchoire supérieure. La dentition était encore probablement complète chez les *Leptotragulus* et les *Proëbrotherium* de l'éocène nord-américain; mais chez les Chameaux, les incisives médianes disparaissent; les latérales, les canines et les premières prémolaires, très espacées, prennent la forme de crochets pointus et recourbés; il n'y a plus que deux prémolaires à la mâchoire supérieure, une à l'inférieure, et une seule partout chez les

Halomeniscus et *Eschatius*. Chez les autres Ruminants : il n'y a plus ni incisive ni canine à la mâchoire supérieure chez les Ruminants pourvus de cornes creuses. On peut se demander pourquoi les incisives des Ruminants ont disparu tandis qu'elles ont persisté chez les Chevaux qui cependant broutent l'herbe comme eux. Aristote avait déjà remarqué, et Cuvier après lui, que les Ruminants pourvus de cornes manquent de canines, mais tous deux se servaient de cette coïncidence comme d'argument en faveur du finalisme, les animaux qui peuvent se défendre avec leurs dents n'ayant pas besoin de cornes et réciproquement ; d'ailleurs la corrélation remarquée par Aristote n'est pas rigoureusement exacte, et ce n'est pas une explication. Le calcaire employé pour la formation de la partie osseuse des cornes serait-il prélevé au détriment des dents ? Les *Triceratops*, les seuls Reptiles qui aient eu de véritables cornes, sont dépourvus de dents sur le devant des mâchoires transformées en une sorte de bec ; outre leurs énormes canines, les *Dinoceras*, dépourvus d'incisives supérieures, étaient armés de trois paires de cornes analogues à celles des Rhinocéros dont les incisives supérieures ont de même disparu ; elles sont également très petites ou manquent chez les *Titanotherium*, les plus cornus des Périssodactyles ; mais la réduction des dents commence dans leur série avec l'appparition des cornes. Les canines sont déjà très faibles chez les *Hyracodon* de l'Oligocène de White-River ; elles disparaissent à la mâchoire supérieure, chez les premiers Rhinocéros ; ils sont sans corne (*Aceratherium*), et n'ont plus que deux paires d'incisives à la mâchoire supérieure, et une seule paire à la mâchoire inférieure. Ils passent sur l'ancien continent, arrivent dans l'Inde au Miocène supérieur et disparaissent au Pliocène. A cette époque les Rhinocéros d'Amérique (*Diceratherium*) ont acquis des cornes symétriques ; les Rhinocéros vrais en ont une seule médiane ou deux placées l'une derrière l'autre ; ils existent déjà en Europe au Miocène moyen (Sansans), où leurs formes les plus

modifiées n'ont plus ni incisives, ni canines; c'est le cas des Rhinocéros (*Atelodus*) d'Afrique, du Rhinocéros de Pikermi (*Atelodus pachygnathus* W), du *Rhinoceros* (*Calodonta*) *tichorhinus* contemporain de l'homme. Les molaires elles-mêmes se réduisent à cinq, à ruban d'émail extraordinairement plissé chez le gigantesque *Elasmotherium* de Sibérie dont le crâne avait 1 mètre de long, et portait sur le front une énorme corne.

De tout ce qui précède, il résulte que pas plus dans la lignée des Rhinocéros que dans celle des Ruminants, on ne peut affirmer que la réduction dans le nombre et les dimensions des dents présentée surtout à la mâchoire supérieure soit causée par l'évolution des cornes; toutefois il y a là une coïncidence assez grande pour qu'on soit en droit de se demander s'il n'y a pas entre ces deux phénomènes une relation profonde, liée à une concurrence dans l'emploi du calcaire que les dents et les cornes sont bien obligées, en définitive, de puiser à la même source.

Les plus anciens Ruminants à cornes datent de l'époque oligocène, et ils en sont, dès cette époque, abondamment pourvus. Ce sont les *Protoceras* de White-River, en Amérique. Ils avaient encore quatre doigts bien développés en avant, deux seulement et des stylets latéraux en arrière; de grandes canines et *dix* paires de cornes chez le mâle, réduites à deux chez la femelle; les incisives supérieures faisaient défaut. Viennent ensuite, au miocène, les *Procervulus* dont les cornes ne sont pas caduques et sont d'ordinaire simplement bifurquées; dans la même période elles acquièrent un cercle de pierrures séparant une partie caduque, bifurquée, d'un long pédoncule persistant chez les *Dicrocerus* du miocène moyen; au miocène supérieur le pédoncule se raccourcit et presque toute la corne devient caduque chez les *Cervulus* actuellement encore vivants dans l'Inde. On arrive ainsi aux Chevreuils qui datent du Miocène supérieur. Les Girafidés (*Helladotherium*, *Sivathe-*

rium) apparaissent en même temps. A ce moment aussi les Antilopes, où un étui corné recouvre un axe osseux, creusé de grandes lacunes, se détachent des Cerfs et ouvrent la série des Ruminants à cornes creuses, chez qui les canines ont disparu ; de là l'idée aristotélique d'une sorte de *balancement*, comme aurait dit Geoffroy Saint-Hilaire, entre les organes de défense. L'*Arsinoëtherium* du Fayoum dont il sera question plus loin constitue la plus grave objection contre cette conception.

Il est assez difficile d'expliquer comment les dents ont pu se simplifier et disparaître chez les animaux qui ont été réunis dans la classe des Édentés. Leur cas n'est pas isolé. Les Ornithorhynques et les Échidnés ont remplacé par des dents cornées ou totalement perdu les dents multituberculées que possédaient leurs ancêtres de la période secondaire ; les dents des Sirénides et des Cétacés se sont, comme celles des Édentés, simplifiées, multipliées, puis complètement atrophiées. Il y a donc là un problème d'ordre général à résoudre. Dans l'Éocène de Patagonie, Ameghino a découvert des Mammifères fossiles dont les molaires s'étaient simplifiées et étaient devenues toutes cylindriques, mais qui avaient encore des canines et des incisives au complet. Les *Lestodon* et les *Megalonyx* de la même époque avaient encore une canine. On peut les considérer comme les ancêtres des Paresseux actuels qui vivent sur les arbres et se nourrissent exclusivement de feuilles que le moindre effort suffit à arracher, et qu'il n'y a plus qu'à mâcher ; le défaut d'usage peut donc être invoqué ici. Malgré leur énorme taille, qui atteignait celle d'un Rhinocéros, les gigantesques *Megatherium* avaient des traits nombreux de parenté avec les Paresseux; au lieu de grimper sur les arbres, ils les renversaient en s'appuyant dessus pour manger ensuite leurs feuilles ; mais ils marchaient en appuyant sur le sol le côté externe de leur main seulement, comme sont obligés de le faire, lorsqu'ils sont à terre, les Paresseux, à cause de la longueur de leurs ongles. S'ils descendent des *Megatherium* dont ils avaient, en somme, conservé

le régime, il n'y avait aucune raison pour que leur dentition se modifiât. Les Fourmiliers ont la même façon de marcher, et leurs mamelles pectorales indiquent qu'ils descendent d'animaux grimpeurs ; la structure de leur appareil génital précise que ces animaux grimpeurs sont les Paresseux ; mais il ont changé de régime ; ils vivent d'Insectes et leur langue vermiforme et démesurée suffit, chez eux, à la préhension d'aliments qui n'ont pas besoin d'être mâchés ; le défaut d'usage peut expliquer la disparition totale des dents, et la forme de la langue l'allongement de la tête et des mâchoires.

Dans la peau des *Mylodon* apparentés aux *Megatherium* et qui n'ont disparu que depuis peu de temps de l'Amérique du Sud, il y avait de nombreux ossicules. Ces ossicules formaient une carapace complète chez les *Glyptodon* dont le dos était un hémisphère de près de 2 mètres de diamètre, leur tête ressemblait encore à celle des *Megatherium* ; mais leurs pieds posaient à plat sur le sol. Il est vraisemblable que les Tatous actuels, qui remontent à l'époque tertiaire (*Eutatus* à carapace entièrement formée de bandes mobiles, *Dasypus*), ont quelque parenté avec eux ; mais chez eux les mâchoires se sont allongées, ce qui coïncide avec une multiplication des dents dont le nombre atteint chez le grand Tatou 26 à la demi-mâchoire supérieure et 24 à l'inférieure, ce qui fait un total de cent.

Les Oryctéropes et les Pangolins de l'ancien monde semblent former un groupe à part, où l'on observe la même déchéance des dents ; ils remontent au Miocène.

Et ici nous rencontrons une difficulté nouvelle. Parmi les fossiles des couches éocènes de Montmartre, Cuvier observa une phalange onguéale bifide qu'il attribua à un énorme Pangolin, seul animal qui présente, avec les Taupes, un pareil caractère. Cet Édenté hypothétique reçut de Lartet le nom de *Macrotherium;* entre temps une tête attribuée à une sorte de Cheval fut baptisée *Chalicotherium*. Une découverte inattendue lors des fouilles dans les terrains de Sansans démontra

à Filhol que le *Macrotherium* et le *Chalicotherium* n'étaient qu'un même animal. Des animaux voisins ont été exhumés des dépôts éocènes de l'Amérique du Nord et complètement reconstitués par le professeur Holland (*Moropus, Eomoropus, Pernatherium*). Ils avaient l'allure de Chevaux qui marcheraient sur leurs boulets, et même étaient presque plantigrades. Ils n'avaient aux pattes que trois doigts terminés par des ongles gigantesques. Comment avaient-ils perdu leurs doigts latéraux? Descendaient-ils d'animaux grimpeurs ou fouisseurs? On ne sait.

Tous les Édentés sont remarquables par le développement considérable de leur système osseux qui contraste singulièrement avec l'avortement des dents. Le même contraste se manifeste chez l'Ornithorhynque et l'Échidné. Peut-on penser que cet enrichissement du squelette en calcaire s'est accompli aux dépens du système dentaire devenu relativement inerte?

Cette massivité du squelette coïncide chez les Sirénides avec une réduction analogue des dents. Les *Prorastomus* éocènes en avaient presque trop, puisque avec le nombre normal d'incisives et de canines ils avaient huit molaires au lieu de sept à chaque demi-mâchoire. Les *Halitherium*, également éocènes, qui du membre postérieur avaient encore conservé un rudiment de fémur, avaient déjà perdu deux incisives et la molaire supplémentaire. Il n'y a d'incisive fonctionnelle que chez le Dugong mâle, et sur six molaires quatre sont rudimentaires ; les deux incisives des Lamentins demeurent cachées sous une plaque cornée ; mais le nombre des molaires de chaque demi-mâchoire se multiplie, comme chez les Tatous, et arrive à onze, dont six seulement sont fonctionnelles. Enfin chez les Rhytines adultes les dents étaient remplacées, comme chez l'Ornithorhynque, par des plaques cornées. Ces grands animaux étaient déjà détruits en 1768, vingt-cinq ans après leur découverte.

La dentition des Cétacés a éprouvé des vicissitudes sem-

blables. On n'en connaît aucun à l'état fossile qui présente une dentition rappelant la dentition primitive des Mammifères placentaires. Les *Zeuglodon* semblent se rapprocher plutôt des Phoques. Dès le début, en même temps que les mâchoires se sont allongées, les molaires semblent s'être dissociées et être revenues à la forme conique qu'on observe chez les Reptiles; seuls, les *Squalodon* miocènes présentent une différenciation des dents en incisives, canines et molaires. Mais à ce moment existent déjà des Dauphins dont toutes les dents sont semblables, des Cachalots qui n'en ont plus qu'à la mâchoire inférieure, des *Hyperoodon* qui n'ont plus qu'une paire de dents à l'extrémité libre de la mandibule, et un grand nombre de Baleinoptères ou même de vraies Baleines qui n'ont plus du tout de dents, mais des fanons cornés. On sait que si les Marsouins et les Orques vivent de Poissons, les Dauphins, les Cachalots, les Hyperoodons vivent surtout de Calmars qui sont mous et les Balénides de tout petits animaux. Ces régimes, qui laissent les dents inertes, peuvent expliquer leur disparition, faute d'excitation de leur bulbe formatif.

Des travaux nombreux en tête desquels il faut placer ceux du paléontologiste américain H. F. Osborn (LXXXX à XCI), nous ont fait connaître d'une manière remarquable les faunes dont, pendant la période éocène, de grands fleuves ont charrié et abandonné les débris dans les vallées des montagnes Rocheuses. Les dépôts qui se sont ainsi formés sont d'âge différent et H. F. Osborn les classe en quatre groupes successifs. Dans le premier groupe qui comprend les dépôts de Puerco et de Torrejon, dansle bassin de San Juan au Nouveau-Mexique (1), on trouve des *Neoplagiaulax* et des *Polymastodon*, hérités de la période triasique, des Insectivores (2), des Créodontes, des Tæniodontes, et des Condylarthres et des Amblypodes. Quelques-uns des ani-

(1) Ces dépôts sont de l'époque éonummulitique (montien, thanétien, londinien.

(2) *Miochlænus, Oxyacodus, Wortmannia, Onychodectes, Triiosodon, Oxyclænus, Loxolophus.*

maux de cette première phase se retrouvent en France (1), d'autres en Patagonie (2). Dès la seconde phase, à Wasatch, à ces groupes primitifs viennent s'ajouter des Rongeurs; de véritables Périssodactyles, et déjà, chose à noter, des Primates.

Durant cette deuxième phase, il n'y a plus aucune forme commune à l'Amérique du Nord et à l'Amérique du Sud qui sont probablement séparées; mais de nombreuses espèces se retrouvent en Europe; elles deviennent rares pendant la troisième phase, correspondant à toute la période mésonummulitique (3) qui voit disparaître les Condylarthres et apparaître des familles tout à fait propres au Nouveau Monde d'où elles ne sortiront pas, tels les Oréodontidés, herbivores à doigts pairs qui durèrent jusqu'à la fin de l'époque tertiaire, et les Titanothéridés qui ont pour type le Titanotherium ou *Brontotherium*, de taille gigantesque. D'énormes colosses se sont constitués également parmi les amblypodes.

Parmi les Périssodactyles plus nombreux que les Artiodactyles, les *Hyrachyus* ouvrent la lignée qui conduit aux Rhinocéros, et les *Orohippus* celle qui mène aux Chevaux.

Enfin dans la quatrième phase, correspondant au néonummulitique (4), de nombreux types, notamment des marsupiaux (5), deviennent communs, par échange, entre l'Amérique du Nord et l'Europe, mais les deux Amériques demeurent complètement séparées. A côté de marsupiaux, les *Peratherium*, les Créodontes sont encore représentés par les *Hyænodon*; les vrais carnassiers font leur apparition, avec les *Cynodictis* qui se retrouvent également en France et auxquels M. Filhol a rattaché tous les autres carnassiers. Des Périsso-

(1) Ils appartiennent à la faune de Torrejon : *Néeoplagiaulax*, Proviverridés, Arctocyonidés, Mésonychidés, *Phenacodus*.

(2) *Trigonolestes*, *Helohyus*, *Parahyus*.

(3) Faune de Puerco.

(4) Lutétien, Auversien, Bartonien, Ludien (par ordre d'ancienneté).

(5) L'Oligocène ou tongrien comprend, par ordre d'ancienneté, le Lattorfien, le Rupélien et le Chattien.

dactyles, les *Protapirus* présagent les tapirs et les *Mesohippus* constituent un chaînon nouveau de la généalogie des Chevaux, ils sont plus tard associés au *Miohippus* (1). Enfin parmi les Artiodactyles communs aux deux mondes on trouve : les *Elotherium*, les *Anthracotherium*, les *Hyopotamus*.

Le bassin de Paris et du sud de l'Angleterre n'est pas, à cette époque, aussi riche en mammifères ; toutefois dès le thanétien on trouve : dans le tuffeau de la Fère l'*Arctocyon*, grand créodonte plantigrade dont le nom signifie ours-chien ; dans le gisement sableux de Cernay, découvert par Victor Lemoine et qui appartient au thanétien supérieur et au sparnacien, dans les conglomérats de Meudon et de Vaugirard : des *Neoplagiaulax*, des *Hyænodictis* et des *Arctocyons*, des lémuriens du genre *Plesiadapis*, et au-dessus d'autres créodontes (2), des *Coryphodon* comme en Amérique, des *Lophiodon* précurseurs des Tapirs. A ce même niveau du sparnacien, les sables d'Ay et l'argile de Londres ont, en outre, fourni des *Hyænodictis*, des *Pachynolophus*, ces derniers constituant un progrès vers les Tapirs. A ces genres s'ajoutent, entre autres, dans le lutétien ou calcaire grossier de Gentilly, de Passy, de Nanterre, les premiers *Palæotherium* et des porcins des genres *Dichobune* et *Cebochœrus*. Viennent alors les célèbres gypses ludiens de Montmartre où Cuvier a fait les découvertes qui ont fondé la paléontologie. C'est là qu'on a trouvé les *Peratherium*, également américains, les *Cynohyænodon*, créodontes à dents de Cynhyène, les *Cynodictis*, les *Palæotherium*, les *Anoplotherium*, les *Xiphodon*, et, parmi les lémuriens, les *Adapis* dont les noms sont cités depuis Cuvier dans les traités les plus élémentaires. Les premières chauves-souris, de vrais Vespertilions, font à ce moment leur apparition. Cette faune se continue à peu de chose près dans le calcaire lattorfien de Brie et c'est dans les sables rupéliens de la Ferté-

(1) En outre les *Ronzotherium*, qui sont des rhinocérotidés ; les *Entolodon*, *Protapirus*, *Paratapirus*, *Cadurcotherium*, *Titanomys*.
(2) *Pachyhyæna*, *Palæonictis*.

Aleps qu'apparaît le premier représentant en Europe du groupe des rhinocéros, l'*Acerotherium*, encore dépourvu de corne nasale. Une faune analogue se retrouve à Ronzon, dans le Velay ; mais il faut y signaler avec les *Cœnotherium* qui sont intermédiaires entre les *Anoplotherium* et les Ruminants, les premiers ruminants vrais, les *Gelocus*.

Des animaux analogues vivaient dans la région du Quercy où les eaux ont creusé les Causses de grottes étendues, dont les parois ont été recouvertes d'une couche de phosphorite et dans lesquelles des ossements de toutes sortes ont été entraînés. Ces ossements étudiés par H. Filhol appartiennent à la seconde moitié du mésonummulitique et au commencement du néonummulitique. Enfin, à l'époque du chattien, se montrent les précurseurs des Musaraignes (*Amphisorex*, *Sorex*), des Taupes (*Myogale*), des Loutres (*Potamotherium*), des Félins (*Eusmilus*), des Castors (*Stenofiber*) et des Ruminants sans cornes (*Dremotherium*, *Amphitragulus*).

Pendant que dans les dépendances du continent Nord-Atlantique les Mammifères évoluent ainsi, dans celles de l'Amérique et de l'Afrique du Sud qui résultent du démembrement du vieux continent de Gondwana, l'évolution se poursuit tout autrement. A l'époque montienne, des Dinosauriens survivent encore dans ces régions. On y compte de nombreux allothériens (1), des marsupiaux déjà analogues à nos Sarigues, des édentés présageant le *Megatherium*, des Oryctéropes qui vivent actuellement dans l'Afrique du Sud, des Paresseux et des Tatous qui sont demeurés sud-américains, des Insectivores (2), des Typothériens, des Amblypodes dont plusieurs voisins des *Lophiodon* (3), des précurseurs des Proboscidiens aujourd'hui localisés en Asie et en Afrique, des *Phenacodon* existant déjà dans l'Amérique du Nord, des hyracoïdiens analogues aux Damans dont les types sont au-

(1) Plagiaulacidés, Polydolopydés, Promyzopidés, Odontomyzopidés.
(2) Spalacothéridés.
(3) *Carolozittelia, Paulogervaisia.*

jourd'hui confinés en Asie et en Afrique, des paléothéridés et autres périssodactyles, ainsi que des lémuriens qu'on ne rencontre plus que dans l'Inde, l'Afrique du Sud et Madagascar. Cette faune, dite faune à *Notostylops*, est suivie de deux autres conservées dans les argiles mélangées de cendres volcaniques qui avoisinent le golfe de Saint-Georges. Aux groupes de mammifères précédents il faut ajouter de nouveaux précurseurs des Proboscidiens, tels que les *Promœrytherium* et les *Pyrotherium*, grands animaux étudiés par Albert Gaudry, dont les molaires à collines transversales rappellent celles des rongeurs et des éléphants, et dont la mâchoire inférieure portait deux longues incisives presque horizontales. A cet ensemble manquent les Chauves-souris, les Créodontes, les Carnassiers, les Artiodactyles, qui existent déjà dans l'Amérique du Nord; il possède en revanche des Sparassodontes, des Édentés, des Typotherium, des Toxodontes, qui lui sont propres, et ses Périssodactyles sont d'un type particulier. Ils étaient représentés par des *Macrauchenia*, ainsi nommés à cause de leur long cou, et par des formes qui ont été rapprochées des Équidés, mais qui étaient bien différentes de celles de l'Amérique du Nord.

Cette faune sud-américaine, si curieuse, est moins étonnante encore que la faune découverte depuis une vingtaine d'années dans le Fayoum, en Égypte, et qui appartient à l'Éocène moyen. La zone la plus ancienne, celle de Birket-el-Querun, est encore marine, mais on y trouve déjà les *Zeuglodon* aussi rencontrés dans l'Alabama et à la Nouvelle-Zélande, et quelques formes voisines (1), ce qui suppose une longue existence antérieure des carnassiers aquatiques, tels que les Phoques. La zone moyenne, celle de Qasr-el-Sagha, contient, avec des crocodiles, des tortues, des serpents, des cétacés, l'un des plus anciens sirénides connus (2), un mammifère de place douteuse, le *Barytherium Graui* et le *Mœritherium*

(1) *Isis*, *Prozeuglodon*, *Eocelus*.
(2) *Eosiren*.

Lyonsi. Dans les 300 mètres d'épaisseur des dépôts de la troisième zone, à la formation desquels la mer et un grand fleuve ont contribué, sont ensevelis d'innombrables ossements de mammifères.

Trois faits sont particulièrement remarquables dans la faune du Fayoum : 1° l'existence du monstrueux *Arsinoëtherium*, 2° celle du *Mœritherium*, du *Palæomastodon*, du *Tetrabelodon*, ancêtres des Eléphants (p. 358), 3° celle d'un groupe de singes qui sont aujourd'hui les uns exclusivement américains, les autres de l'Ancien Monde et dont la présence simultanée recule singulièrement l'antiquité des groupes fondamentaux de ces animaux (p. 383).

Le colossal *Arsinoëtherium*, plus grand qu'un rhinocéros, avait une dentition complète d'herbivore ; au-dessus de son nez se dressaient deux cornes osseuses énormes, sans doute revêtues d'un étui comme celles des bœufs et derrière lesquelles se trouvaient deux cornes plus petites.

A l'époque néogène, les faunes de l'Europe, de l'Afrique et de l'Asie tendent à prendre une homogénéité suffisante pour qu'on ait pu désigner sous le nom d'*Arctogée* l'ensemble des régions où elles se trouvent. La plus ancienne de ces faunes, en France, est celle de Saint-Gérand-le-Puy, dans l'Allier, qui se retrouve en Allemagne, à Ulm, et appartient à l'aquitanien. Les *Antracotherium*, si fréquents à la période précédente, ne persistent plus que dans l'Inde. Ils sont remplacés par les *Brachyodus* associés à une espèce de tapir (1), deux genres voisins des rhinocéros (2), un genre de porcins (3), deux genres de ruminants (4), et surtout à de nombreux *Cœnotherium*. Il semble que tous ces types aient évolué sur place. La faune des sables de l'Orléanais, qui est un peu postérieure (5),

(1) *Paratapirus*.
(2) *Aceratherium, Diceratherium*.
(3) *Palæochœrus*.
(4) *Dremotherium, Amphitragulus*.
(5) Burdigalien.

s'enrichit d'un genre de chevrotains, les *Hyæmoschus*, qui vivent encore; mais comme ces animaux sont moins avancés que les ruminants à canons parfaits qui existent déjà, ils doivent remonter plus haut. Les *Palæomeryx* et les *Dicrocerus* ont pris la place des *Dremotherium* et des *Amphitragulus*. A ces types, qui sont autochtones, sont venus s'ajouter les Mastodontes et les *Dinotherium* sans doute venus d'Afrique, puisque leurs ancêtres ont été trouvés au Fayoum, deux types nouveaux de rhinocéros (1), deux genres de porcins (2), un nouveau *Cervulus* (3) et enfin un singe anthropoïde, issu sans doute de celui du Fayoum, le Pliopithèque. L'Amérique, où le type des chevaux est en pleine évolution, a fourni de son côté l'*Anchitherium*.

A Sansans, dans le Gers, à la Grive-Saint-Alban, à Saint-Gaudens, en France, à Erbiswalden et respectivement à Simorre, à Montebambili (4), apparaissent les premiers Félins, les Porcs-épics venus de l'Amérique du Sud par l'Afrique (continent africano-brésilien), tandis que l'Asie et l'Afrique auraient fourni directement toute une série d'Ours (1), un nouvel anthropoïde, le Dryopithèque, un singe à queue, du type africano-asiatique, l'Oréopithèque et le *Chalicotherium* qui existaient déjà lors du dépôt des sables de l'Orléanais. La faune pontienne de Pikermi, près d'Athènes, celle du mont Léberon, près d'Avignon, sont célèbres par les recherches d'Albert Gaudry; c'est à l'occasion de la première que ce maître éminent, avant Darwin et en s'appuyant uniquement sur ses propres observations, eut le courage de revenir à la théorie de l'évolution abandonnée depuis Lamarck. Elle est particulièrement riche, et l'esprit poétique d'Albert Gaudry a donné une réalité au lion de Némée, au sanglier d'Érymanthe, à la chèvre Amal-

(1) *Teleoceras, Ceralorhinus.*
(2) *Chærotherium Listriodon.*
(3) *Micromeryx.*
(4) Vindobonien.
(5) *Pseudarctos, Hyænarctos, Ursavus.*

thée (1), etc., dont les noms génériques suffisent à indiquer à quel point cette faune se rapproche de la faune moderne. Les félins ont même dépassé le degré d'évolution des lions dans une forme aujourd'hui éteinte mais qui dut être redoutable, celle du *Machærodus*, dont les longues canines supérieures, aplaties et courbées en lame de cimeterre, pointues, tranchantes et dentelées en arrière, devaient être des armes terribles; leur développement était tel que l'animal ne pouvait mordre avec ses incisives, et déchirait avec ses puissantes canines des lambeaux de chair pour boire le sang de ses victimes. Ce régime dispendieux a dû amener sa disparition rapide dès que les antilopes se sont raréfiées. Il n'y avait plus que deux molaires à la mâchoire supérieure et trois, dont la première rudimentaire, à la mâchoire inférieure. Les Antilopes poursuivies par les Hyènes (2) se répartissent déjà en genres nombreux, probablement venus d'Afrique : les Gazelles, les *Palæoryx*, les *Palæorcas*, les *Protragelaphus*, et elles sont accompagnées des premiers Chevreuils (3) qui ouvrent la série de ruminants à cornes ramifiées, et des premiers Moutons (*Criotherium*). La famille des Girafes est représentée par plusieurs genres dont l'un, dédié à la Grèce par Albert Gaudry, l'*Helladotherium*, remarquable par la brièveté relative de son cou et l'absence de cornes, était presque en tout semblable à l'*Okapi*, qui en diffère seulement par la présence de petites cornes chez le mâle. Des Oryctéropes, des Damans, un Rhinocéros (*Atelodus*), sont aussi venus d'Afrique, mais on a vu que les Oryctéropes existaient déjà dans l'Amérique du Sud pendant la période précédente. La migration africaine se complète par celle d'un singe à queue, le Mésopithèque, qui vient s'ajouter

(1) *Tragoceras*.

(2) *Lychyæna, Hyænictis, Hyæna*.

(3) L'origine africaine du cheveuil est peut-être un peu douteuse; les métatarsiens latéraux des chevreuils sont, en effet, atrophiés de la même façon que chez les cervidés américains, dont un seul, le cerf du Canada, présente le mode d'atrophie de métatarsiens latéraux des cervidés européens.

aux anthropomorphes des genres Dryopithèque et *Anthropodus*. L'Amérique du Nord envoyait à la même époque en Europe, par le chemin de l'Asie, les Lièvres et l'*Hipparion*.

La série des faunes néogènes se termine, dans nos pays, par la faune pliocène de Montpellier et de Perpignan. Elle semble être un peu moins riche en types existants déjà, mais elle a reçu d'Afrique un porcin, le *Potamochœrus*, un macaque, un type nouveau de mammifères, le *Ruscinomys*; un hippopotame (1) est venu d'Asie, ainsi que quelques-uns de nos cervidés actuels, l'Axis, le Daim, accompagnés d'un autre du genre *Polycladus*. D'Asie également, mais émigré de l'Amérique du Nord par un isthme situé sur l'emplacement du détroit de Behring et non plus par le continent Nord-Atlantique précédemment décrit, arrivaient en Europe les Ratons. Parmi les rongeurs on voit enfin apparaître les Campagnols.

A ce moment, une faune analogue à celle de Pikermi vivait en Perse; mais la faune la plus riche d'Asie est celle dont les éléments ont été apportés au pied de la chaîne de l'Himalaya par des cours d'eau descendus de ses pentes et qui ont formé les collines de Siwalik. Le *Machœrodus* en compagnie de félins plus modestes, les *Æluropsis* et les *Ælurogale* y poursuivaient encore des *Strepsiceros*, des cerfs proprement dits, des antilopes cobs, des chèvres, des bisons et des bœufs. Plusieurs espèces de *Dinotherium* et de Mastodontes sont en pleine prospérité; un chimpanzé, un semnopithèque, un cynocéphale, un macaque témoignent de la grande variété de singes à cette époque. C'est à cette faune qu'appartiennent le *Brahmatherium* et le *Vishnoutherium*, plus tard le *Sivatherium*, l'*Hydaspitherium*, grandes girafes cornues.

L'Amérique du Sud, séparée de l'Amérique du Nord, est demeurée en retard sur le reste des continents. A l'époque du

(1) *Tetraprotodon*.

néogène inférieur, des Paucituberculés y vivent encore, de même que les *Typotherium*, avec des marsupiaux proprement dits, des Sparassodontes, des Toxodontes et des Amblypodes (*Astrapotherium*); mais les Chinchillas et les Cabiais, parmi les rongeurs, sont déjà spécialisés; les Edentés ont pour représentants les gigantesques *Megatherium*, les *Mylodon*, les *Megalonyx*, de vrais Tatous et de vrais Fourmiliers. Les Périssodactyles appartiennent aux deux familles des Protothéridés et des Macrauchénidés. Enfin, sous le nom de d'Homunculides, Ameghino a décrit toute une série de singes en qui il a voulu voir les ancêtres lointains de tous les singes et de l'Homme lui-même.

Durant la période suivante, qui est la période actuelle, la faune de l'Amérique du Sud continuera son évolution spéciale, mais déjà des éléments nord-américains la pénètrent, notamment dans le bassin de Parana qui appartient au néogène supérieur; ce sont des carnassiers appartenant aux groupes des Ours (*Proarctotherium*), des Chiens (*Amphicyon*), des Ratons, et, tout à fait à la fin de la période, un Ruminant (*Microtragulus*).

L'homme est sur le point désormais de faire son apparition.

CHAPITRE IV

LA FORME HUMAINE

Pendant que les Mammifères que nous venons d'étudier se spécialisent dans des genres de vie où ils se confinent étroitement, quelques-uns dont rien ne pouvait faire prévoir les hautes destinées demeuraient aptes à user d'une nourriture des plus variées et, vivant à terre ou sur les arbres qui leur offraient un refuge assuré, employaient leurs membres, au gré des circonstances, à courir, sauter, grimper, saisir, excitant au maximum, par ces actes variés, leur appareil cérébral et provoquant son développement par l'activité qu'ils lui imposaient. Par un singulier contraste, celui-ci se perfectionnait sans cesse, tandis que les membres et les divers organes, gardant leur indétermination initiale, demeuraient tout près des formes primitives. Ces Mammifères ont été groupés dans l'ordre des Primates; ils ont pour caractère commun l'opposabilité du doigt intérieur des quatre membres, aux autres doigts, ce qui leur permet de prendre les objets, de les palper de toutes manières et de recueillir ainsi des informations nouvelles et précises qui contribuent, à leur tour, à l'évolution de leur cerveau. Là elles se combinent avec celles recueillies par d'autres sens, et provoquent la mise en œuvre de plus en plus fréquente d'une volonté réfléchie.

Cet ordre comprend aujourd'hui les Lémuriens et les Singes. Les Lémuriens vivent dans l'Inde, dans l'Afrique équatoriale et surtout à Madagascar où ils sont particulièrement nombreux et variés; les Singes forment deux grands groupes: les Singes à narines écartées, ou platyrhiniens, à mâchoires pourvues de

36 dents, sauf chez les Ouistitis; les Singes à cloison nasale mince ou CATARHINIENS, à mâchoires ne portant que 32 dents, distribuées suivant la même formule que les dents de l'Homme. Les premiers sont propres au Nouveau monde, les seconds se trouvent en Afrique et en Asie; ils ne sont représentés en Europe que par le Magot, cantonné aux environs de Gibraltar. Parmi les Singes de l'ancien continent qui atteignent la plus grande taille, les Gibbons de l'Inde, les Orangs-Outangs des îles de la Sonde, les Chimpanzés et les Gorilles de l'Afrique centrale sont dépourvus de queue; par l'absence de cet appendice leur ressemblance avec l'Homme s'accuse; aussi les appelle-t-on *Singes anthropomorphes*, Singes à forme humaine.

Au début de la période éocène vivaient en Amérique de nombreuses espèces de Lémuriens (*Hyopsodus*) à qui ne manquait qu'une paire d'incisives pour avoir la formule dentaire complète à 4 molaires et 3 prémolaires des Mammifères placentaires primitifs. Peut-être même faut-il considérer comme des Lémuriens les *Pelycodus* de Wasatch qui avaient une formule dentaire complète. Mais on peut dire que tout de suite les vrais Primates sont caractérisés par la réduction de leurs incisives à deux paires qui persisteront dans toute la série. A l'éocène supérieur des animaux d'une formule dentaire analogue, les *Adapis*, se retrouvent dans le bassin de Paris, mais Cuvier, qui les a décrits le premier, ne connaissant que leur tête, les avait pris pour des Pachydermes; d'autre part, l'angle de leur mâchoire inférieure se recourbait légèrement en dedans, comme chez les Marsupiaux. Les *Adapis* sont, par conséquent, tout près des Placentaires primitifs et l'on est ainsi conduit à admettre que les Primates ont évolué parallèlement aux autres Mammifères placentaires, sans se mêler à eux. Avec leur museau allongé, leurs oreilles droites et pointues, leur physionomie spéciale qui les fait désigner sous le nom de Singes à museau de renard, leurs mamelles nombreuses, leur dentition variable où il n'y a plus parfois qu'une paire d'incisives inférieures (Propithèques, Tar-

siers), et même à la mâchoire supérieure (Aye-Aye) qui, dépourvue de canines, ressemble alors à celle des Rongeurs, les Lémuriens forment un groupe qui s'est diversifié en tous sens, en gardant quatre mains préhensiles, et dont quelques formes ont donné naissance aux Singes d'Amérique qui ont gardé leurs quatre prémolaires primitives. Ils étaient répandus dans le monde entier, et il est vraisemblable que c'est dans leur troupe variée que se cachent les ancêtres des Singes du Nouveau monde et ceux des Singes de l'Ancien monde, ancêtres qui, pour être des Lémuriens, ne sont pas nécessairement les mêmes. Les Singes du Nouveau monde n'ont que 36 dents au plus, ceux de l'Ancien monde que 32. Mais ces deux types diffèrent entre eux parce que les Singes du Nouveau monde ont une dentition de lait qui comprend toujours trois prémolaires à la mâchoire supérieure, même quand ils n'ont que 32 dents, tandis que celle des Singes de l'Ancien monde n'en comporte que deux; on considère que c'est là un argument en faveur de l'ancienneté plus grande des Singes américains.

La dentition des Hommes est, au point de vue numérique, semblable à celle des Singes de l'Ancien monde; elle en diffère surtout par les dimensions moindres des canines. La réduction de la formule dentaire va en croissant des Lémuriens à l'Homme jusqu'à la limite de 32 dents, atteinte déjà par les Singes catarhiniens. On ne peut chercher la cause de cette réduction que dans un caractère qui soit commun à tous ces animaux, et celui qu'il est le plus logique d'invoquer, c'est la faculté de préhension acquise par la main qui décharge les mâchoires d'un travail qu'elles étaient seules jusque-là à exécuter; désormais, n'ayant plus de traction à exercer pour saisir les objets et les déplacer, n'étant plus étirées par ces tractions qui interviennent pour une part dans leur allongement et ont sans doute provoqué la conformation spéciale de la tête des herbivores, elles se raccourcissent, se ramassent et l'on passe ainsi du museau de renard des Makis et autres Lémuriens à la face camuse des Singes;

ce raccourcissement ne va pas sans un ralentissement de la nutrition qui explique peut-être la raréfaction des poils sur cette face presque nue.

D'autre part, la variété des attitudes que doivent nécessairement prendre des animaux grimpeurs qui séjournent sur les arbres est une préparation évidente à l'attitude verticale que les grands Singes ne réussissent cependant à obtenir qu'à demi. Ces diverses transformations ont été réalisées de bonne heure. Dans les terrains éocènes de Patagonie les frères Ameghino ont découvert toute une série de Primates qu'ils ont nommés *Homunculus*, *Tétra-*, *Tri-*et *Diprothomo*, ce qui signifie : miniature d'homme, quadrisaïeul, trisaïeul et bisaïeul de l'homme. Suivant eux, le berceau de l'Humanité serait, non pas au pied du massif du Thibet où sont encore rassemblées les races humaines, comme le pensait de Quatrefages, mais au sud de l'Amérique. Malheureusement, comme le fait remarquer M. Boule dans son brillant mémoire sur l'Homme de la Chapelle-aux-Saints, tous les Homoncules d'Ameghino sont encore trop loin de l'Homme pour qu'il soit possible de les classer dans sa généalogie.

C'est dans les couches éocènes de Wasatch, dans l'Amérique du Nord, que Cope a découvert dans l'*Anaptomorphus* le premier anneau de la chaîne qui relie les Singes aux Lémuriens. Des animaux analogues se multiplient d'abord dans l'Amérique du Nord, puis la quittent pour émigrer vers l'Amérique du Sud où ils ont donné naissance aux alertes Singes à queue prenante de cette région, les Sajous. Ils arrivent au même moment en Europe et se réfugient en fin de compte, vraisemblablement à la suite du refroidissement de la température, dans leur domaine actuel, l'Inde, l'Afrique tropicale et Madagascar. Lémuriens et Sajous sont même associés dans les dépôts éocènes du Fayoum où les premiers sont représentés par les *Parapithecus*, les seconds par les *Mœropithecus*. Mais avec eux les paléontologistes ont eu la surprise de rencontrer un

Singe anthropomorphe, le *Propliopithecus Hæckeli*, voisin des Gibbons, apparenté sans doute au *Pithecanthropus erectus* découvert à Java par le Dr Dubois et certainement ancêtre direct du *Pliopithecus*, découvert par Lartet dans le Miocène de Sansans. L'antiquité des Singes anthropomorphes, que l'on croyait avoir été le dernier terme de l'évolution des Singes puisqu'ils sont les plus rapprochés de l'Homme, se trouve donc reculée jusqu'au début de l'époque tertaire, ce qui enlève toute invraisemblance à l'existence de l'Homme lui-même à l'époque tertiaire. Les Gorilles, les Chimpanzés ne seraient venus qu'après les gracieux Gibbons qu'on vénère dans l'Inde et qui sont les Singes les plus rapprochés de l'Homme. La grimaçante cohorte de Singes à queue de l'ancien continent serait aussi plus récente; le Mésopithèque du Pentélique décrit par Albert Gaudry est du miocène; de sorte qu'en admettant notre parenté généalogique avec les Singes nous n'aurions à compter parmi nos ancêtres aucun de ces êtres répulsifs tels que les *Hamadryas*, les Mandrills à tête bariolée ou les autres singes à tête de chien dont on peut voir les grotesques figures dans les ménageries.

Il faut bien reconnaître d'ailleurs — quelque dépit que nous en puissions avoir — que les traits caractéristiques du corps de l'Homme ne l'éloignent pas beaucoup de ceux des Gibbons et qu'il est facile d'expliquer, comme l'avait déjà dit Lamarck, les caractères qui lui sont propres. Presque tous dérivent de son attitude verticale parfaite. Par elle les mains ont été complètement libérées de tout autre service que celui de la préhension et de l'exploration des objets, de la fabrication ou du maniement des instruments de défense. Grâce à ces derniers, les mâchoires ont tout à fait cessé de mordre et de déchirer, comme elles avaient déjà cessé de saisir, pour se borner à la mastication des aliments ; elles se sont peu à peu, en raison de ce moindre travail, raccourcies et allégées. Les muscles élévateurs de la mâchoire inférieure sont, chez les grands Singes, des

muscles puissants qui, dans le jeune âge, s'insèrent dans la fosse temporale, mais qui, à mesure que l'animal vieillit, grimpent peu à peu le long des parois latérales du crâne, comme ils le font également chez les carnassiers, et finissent par se rencontrer sur le vertex, où ils provoquent le développement d'une crête médiane à laquelle ils s'attachent. Désormais cette crête s'oppose à tout élargissement du crâne dont les os sont définitivement suturés sur la ligne médiane ; les muscles qui s'y attachent, quand ils se contractent, tendent même à comprimer latéralement les parois du crâne, et compriment, par leur intermédiaire, le cerveau dont le développement est arrêté. C'est vraisemblablement une des raisons pour lesquelles les vieux Singes sont plus capricieux, plus malfaisants, plus stupides que les jeunes. Chez l'Homme, les muscles élévateurs de la mâchoire inférieure ont cessé de grimper ainsi. Insérés, comme chez les jeunes Singes, dans la fosse temporale, ils ne peuvent, en se contractant, exercer aucune pression sur le cerveau ; au contraire, ils tendent à écarter les frontaux et les pariétaux, à mettre le cerveau plus à l'aise, et contribuent, par conséquent, à favoriser son développement. La tête s'équilibre sur la colonne vertébrale de manière à faire une égale saillie en avant et en arrière ; elle se développe également en hauteur et de là découlent des conséquences importantes. Le développement du crâne et du cerveau en avant entraîne naturellement dans cette direction la base du nez, tandis que la rétraction des mâchoires laisse les narines s'ouvrir librement au-dessus d'elles ; de là la saillie si caractéristique du nez humain. Cette même rétraction donne aux lèvres, qui ne sont plus tendues en avant par la projection des dents, une liberté de mouvements qui permet le sourire. En s'élevant en hauteur le crâne domine les oreilles déjà immobiles chez les Singes et, comme il s'élargit en même temps, les yeux, plus ou moins latéraux chez la plupart des Mammifères, sont reportés en avant. Ainsi tous les traits caractéristiques de la figure humaine sont des conséquences du développement

du cerveau, provoqué lui-même par l'importance prise par la main. De même les traits caractéristiques des Vertébrés ont été déterminés par la prédominance prise chez eux par le système nerveux ; si bien que l'évolution de l'Homme paraît avoir été conduite essentiellement par les progrès de l'intelligence. C'est de très bonne heure que le développement de ses ancêtres s'est orienté dans cette direction.

Une fois franchie l'étape des Lémuriens, qui par les *Adapis* se rattachent encore aux Marsupiaux, il semble que tout de suite, par le simple redressement du corps dont l'architecture n'est plus modifiée, s'ouvre la voie qui conduira rapidement au type humain par un progrès incessant et presque exclusif des organes de l'intelligence et de la raison. Ailleurs, les membres, la dentition, les dépendances des téguments, les viscères eux-mêmes se modifieront dans les sens les plus divers, s'appropriant surtout à des fonctions purement matérielles ; ici tout l'effort portera vers le perfectionnement du système nerveux et de l'appareil cérébral, en sorte que l'Homme, séparé dès l'origine des Singes actuels, n'a de parenté directe avec aucun des autres Mammifères.

Est-ce à dire qu'au point de vue purement matériel il faille faire à l'Homme une place à part dans la Nature? Tout ce livre conduit à une conclusion contraire. A l'exemple des géologues qui, renonçant aux causes inconnues pour expliquer la configuration et la structure du Globe, ont réussi si brillamment à tout expliquer par l'unique considération des causes qui agissent encore autour de nous, j'ai cherché à établir que les lois qui régissent actuellement la vie suffisent à expliquer la formation et l'évolution de tous les grands types organiques, problème plus important, je pense, que la poursuite de l'explication des formes diverses revêtues par les espèces, ce qui est, en somme, le petit côté de la question.

La forme humaine s'explique ainsi comme les autres. Il semble, à la vérité, qu'à travers l'océan mobile des formes

vivantes, celles qui se sont acheminées vers les types humains aient tracé un sillage très direct. Les Éponges, les Polypes, les Bryozoaires, les Arthropodes, les Vers plats, les Étoiles de mer et tout le monde des Échinodermes dont elles sont le début, les Mollusques, les Tuniciers, les Poissons osseux, les Batraciens anoures, les Reptiles, les Oiseaux, les Mammifères placentaires à griffes ou à sabots sont hors de sa route. D'autre part, tandis que des conditions purement mécaniques ou des changements d'attitude ont amené la formation première et le remaniement des autres formes organiques, le remaniement qui a conduit des Invertébrés aux Vertébrés a eu pour cause le volume acquis par le système nerveux, dont les centres et surtout le cerveau se sont ensuite graduellement perfectionnés. C'est surtout par le volume et les dispositions particulières de leur cerveau que les Hommes diffèrent des autres Vertébrés.

Ce qui a élevé l'Homme au-dessus des animaux dont il a gardé la structure, ce qui lui inspire l'horreur qu'il éprouve à l'idée d'une parenté avec eux, c'est avant tout la conscience de sa mentalité exceptionnelle. Il nous faut bien consentir cependant à être faits, comme les êtres vivants les plus infimes, de quelques substances vulgaires. Les globules blancs de notre sang ont gardé la structure et les mouvements amiboïdes des plus humbles Protozoaires rhizopodes; la membrane olfactive de notre nez, notre trachée-artère et quelques autres des cavités de notre corps sont tapissées par des cellules munies de cils vibratiles semblables à ceux des Infusoires; nos cellules nerveuses se retrouvent avec les mêmes caractères extérieurs chez tous les animaux; nos fibres musculaires ne diffèrent pas essentiellement de celles des autres Vertébrés et ont déjà des analogues chez quelques Invertébrés; notre corps est divisé en segments comme celui des Vers; nos dents ne diffèrent pas des plaques résistantes qui forment le squelette dermique des Requins et dont les dents de ces Poissons ne sont qu'une modification; les écailles des Poissons ont formé les os de la voûte de leur crâne

que Geoffroy Saint-Hilaire a retrouvée dans le nôtre ; notre sternum, nos clavicules se relient à des plaques osseuses externes des Batraciens. Chez les embryons humains s'ébauchent des arcs branchiaux, comme chez ces derniers qui les tiennent eux-mêmes des Poissons cténobranches. Nous nous reproduisons à l'aide d'éléments semblables aux éléments reproducteurs de tous les autres êtres vivants, et le développement de notre corps est calqué sur celui des Reptiles, des Oiseaux et des plus humbles Mammifères.

Il faut prendre notre parti de toutes ces ressemblances. Quoi que nous pensions, nous n'aurons jamais le corps de rayons que Victor Hugo prêtait aux Sylphes, ni les ailes chatoyantes que déployait l'ange de Wells lors de la *Merveilleuse visite* qu'il fit imprudemment à notre Terre. En revanche, nous pouvons nous enorgueillir d'autant plus de notre intelligence que notre corps a été son œuvre et que, dans notre évolution, quelque paradoxal que cela paraisse, l'esprit a toujours dominé la matière. C'est notre besoin de savoir, de voir de plus haut et plus au loin qui nous a fait atteindre à l'attitude verticale parfaite dont nous sommes fiers, qui nous a incités à user de nos mains libérées pour palper et apprécier ce qu'elles touchaient, ou façonner les corps bruts en instruments appropriés à des destinations nettement conçues ; c'est le même besoin qui a suscité l'évolution de notre cerveau, donné à notre visage son noble aspect est préparé nos lèvres pour le langage et pour le sourire.

Qu'importe la matière, chair ou poussière, sur laquelle l'intelligence a travaillé, si elle l'a sans cesse ennoblie par sa présence ? Qu'importent les transformations que le corps de l'Homme a pu subir si, dans une course radieuse à travers tout ce qui vit, l'esprit l'a emporté jusque sur les sommets d'où sa raison domine aujourd'hui le monde ?

CONCLUSION

Partis de la naissance de la matière, nous sommes arrivés jusqu'à la réalisation de la forme humaine, en reliant entre eux le point de départ et le point d'arrivée par une chaîne continue de faits constituant autant de maillons solidement rivés par des raisonnements rigoureux, eux-mêmes appuyés sur un petit nombre de principes. La plupart de ces principes ont été énoncés à des époques plus ou moins lointaines, discutés, puis abandonnés parce que, ayant été d'abord donnés comme généraux, ils ont été plus tard reconnus insuffisants. Chacun avait cependant sa valeur, et leur ensemble sagement coordonné conduit, en somme, à une explication rationnelle de la Vie et de ses œuvres.

Il est bien vrai, comme le soutenait déjà Cuvier (1), à l'encontre de beaucoup de ses contemporains, comme l'a depuis victorieusement démontré Pasteur, que, dans la Nature actuelle, il ne se forme plus spontanément d'êtres vivants, mais il est également démontré que seul le soleil entretient la vie sur la terre, qu'elle s'éteindrait avec lui et il devient alors probable qu'elle est née de rayons qu'il a perdus (2) mais dont on peut envisager dès maintenant la production artificielle, ouvrant ainsi la porte à toutes les espérances. Il est également bien vrai que les espèces végétales ou animales peuvent donner l'illusion — tant leurs variations sont lentes, ou faibles quand elles sont brusques — que leurs formes sont fixes, comme le voulaient naguère la plupart des naturalistes ; mais ces variations n'existent pas moins, et si lentes qu'elles soient, on peut par des soins appro-

(1) *Règne animal*, 3e édition, t. I, page 9.
(2) Page 78.

priés conduire très loin de leur point de départ les plantes qui les ont éprouvées. Il y faut du temps et on ne soupçonnait pas, à l'époque où Cuvier défendait la fixité des espèces, combien est courte la période depuis laquelle nous observons, comparativement à une de ces périodes géologiques dont on a réussi à reconstituer l'histoire.

Lamarck attribuait les variations des espèces animales aux habitudes qu'imposaient aux animaux les excitations du milieu extérieur; il avait raison, mais dans une certaine mesure seulement, et cette restriction a suffi pour faire choir sa doctrine. Darwin admettait des variations dues à des causes quelconques, conservées par l'hérédité et renforcées pour la sélection naturelle; mais pour que la sélection naturelle pût agir, il fallait qu'elle s'exerçât sur des êtres déjà nombreux et variés. D'où venaient-ils ? Il ne le disait pas. Chacune des conceptions de ce genre — et nous pourrions en allonger beaucoup la liste — peut être soutenue par des arguments tirés des faits, mais toutes sont dépassées par eux ; et il se trouve qu'il faut néanmoins faire une part à chacune d'elles, mais une part seulement dans l'explication des formes vivantes. En fait, toutes sont intervenues, chacune à son heure, pour la détermination de ces formes, et il s'y en ajoute beaucoup d'autres. Aux causes extérieures de modifications, il faut, en effet, ajouter de puissantes causes internes, parfois intimement liées aux premières, comme c'est le cas pour les modifications des muscles et des os résultant des mouvements habituels provoqués par les excitations venues du milieu, suivant la formule de Lamarck. Chacun des éléments anatomiques associés pour constituer un organisme, tout en contribuant à la vie de celui-ci, n'en continue pas moins à vivre pour son compte, et c'est sur cette base de l'*indépendance des éléments anatomiques* que Claude Bernard a fondé toute sa doctrine physiologique. Elle est également incomplète, si on la prend au pied de la lettre. Chaque élément contribue, en effet, pour sa part à la constitution du fonds commun dans lequel tous

baignent avec lui. Il y puise tout ce qui est nécessaire à son alimentation ; il y déverse, en revanche, tous les résidus de sa nutrition et les produits de son activité. Ces résidus et ces produits constituent les *sécrétions internes* sur lesquelles Brown-Séquard a le premier appelé l'attention mais qui, loin d'être le propre de certaines glandes longtemps réputées sans fonction, comme on s'est habitué à le dire, sont le fait de tous les éléments anatomiques. Par l'intermédiaire de ce milieu, qu'ils modifient sans cesse et sur lequel retentissent toutes les modifications qu'ils éprouvent eux-mêmes, qu'ellesviennent de l'action du milieu extérieur ou d'ailleurs, les éléments unis dans un même organisme, ceux même qui n'y sont que temporairement et accidentellement associés, réagissent ainsi les uns sur les autres à toute distance. Un organisme porte donc en lui-même des causes incessantes de modifications qui lui donnent une plasticité suffisante pour qu'il puisse s'adapter d'une manière constante au milieu dans lequel il vit. Rien n'est plus propre à mettre nettement en évidence les effets de cette action à distance que les changements qui surviennent non seulement dans l'extérieur des oiseaux, mais aussi dans leur psychologie, tels qu'ils résultent des expériences de castration ou des greffes génitales habilement conduites par M. L. Pézard (1). Ces opérations modifient profondément l'évolution du plumage des coqs et peuvent, ce qui est psychologique, inciter les poules à adopter leur chant. Il n'est pas étonnant que ces modifications retentissent sur la composition des éléments génitaux eux-mêmes qui deviennent aptes, lors de la segmentation répétée grâce à laquelle ils reconstituent un organisme semblable à celui d'où ils proviennent, à remonter en sens inverse le chemin par lequel ce dernier a passé pour arriver à sa forme ultime. C'est ce qui constitue l'*hérédité*. Elle maintient l'individu dans sa descendance ; mais les substances qui s'accumulent en lui ne

(1) *Le conditionnement physiologique des caractères sexuels secondaires chez les Oiseaux*. Thèse de Paris (Sciences), 1918.

se bornent malheureusement pas à le modifier ; elles l'encombrent, et il finit par succomber à cet encombrement après avoir traversé cette phase de déchéance graduelle que nous appelons la *vieillesse*.

La régénération, par les éléments reproducteurs, des caractères successifs des ancêtres de l'organisme d'où ils proviennent avait conduit Etienne Geoffroy Saint-Hilaire à concevoir l'Embryogénie des êtres vivants, animaux ou végétaux, comme une répétition rapide de leur généalogie. La rapidité croissante, inégale d'ailleurs pour les divers systèmes d'organes, avec laquelle, dans l'embryon, se succèdent les caractères ancestraux, fait que ces caractères finissent, pour ainsi dire, par se télescoper, en même temps que les plus rapides à évoluer, par une sorte de lutte pour la vie interorganique, prennent la place et la nourriture des plus lents. C'est cette accélération dans la succession des phénomènes embryogéniques résultant des modifications définitives de la forme adulte que nous avons désignée sous le nom de *tachygénèse*. Par une sorte de paradoxe, de conservatrice l'hérédité devient ainsi, grâce à la tachygénèse, modificatrice. L'importance de la tachygénèse comme cause de transformation des organismes ne saurait être estimée trop haut : on a vu comment elle a produit l'embranchement des Vertébrés. Mais la tachygénèse elle-même est un résultat, et nous sommes loin encore de savoir comment il a été obtenu.

L'embryogénie ne reproduit pas seulement les caractères ancestraux ; les embryons libres, au cours de leur développement, modifient assez souvent leur genre de vie ; ils reviennent aux conditions dans lesquelles ces caractères ont été réalisés, permettent de remonter à leur cause, et c'est ainsi que nous avons pu signaler l'importance des changements d'attitude dans la réalisation de types organiques dont la conformation paraissait, au premier abord, inexplicable par des causes accessibles à l'observation ; cette conviction avait conduit

Cuvier à imaginer ses quatre types immuables de structure, dont un seul d'ailleurs était nettement délimité par des caractères constants et précis : celui des Vertébrés. Aux quatre embranchements de Cuvier on en a substitué neuf aujourd'hui : les PROTOZOAIRES, les ÉPONGES, les POLYPES, les CHITINOPHORES *(Arthropodes et Némathelminthes)*, les VERS, les ÉCHINODERMES, les MOLLUSQUES, et les VERTÉBRÉS auxquels se relient par une dégénérescence résultant de la fixation de leurs embryons aux objets sous-marins, les TUNICIERS ; mais chacun de ces embranchements a trouvé, avec des caractères précis, une explication nette de ces caractères. Il est fort peu probable que des recherches sous-marines fassent, par la suite, apparaître des embranchements nouveaux ; il semble que ceux que nous connaissons répondent à tous les types rationnels possibles. Mais de tous ces embranchements, quatre seulement ont doté les eaux douces ou la terre ferme d'une abondante postérité : ce sont les Chitinophores dont les Arachnides et les Insectes sont les types essentiels, les Vers, les Mollusques et les Vertébrés, et nous avons vu comment l'hermaphrodisme des Vers et des Mollusques lacustres ou terrestres a posé la question des conditions qui déterminent la production de tel ou tel sexe.

Il semble bien que les mâles présentent chez les formes inférieures une inaptitude particulière à se développer et une fragilité relative, et chez les formes supérieures une disposition particulière à gaspiller leurs réserves nutritives pour la production d'ornements inutiles, comme le brillant plumage de beaucoup d'oiseaux mâles, les parures de nombreux insectes de ce sexe, la crinière des lions, la barbe des hommes, etc., ou d'organes de défense et d'attaque comme les cornes de divers ruminants mâles, les défenses des éléphants ou les énormes mandibules des cerfs-volants. Les femelles, au contraire, au moins dans le règne animal, semblent le plus souvent sacrifier toute ornementation de luxe et parfois, chez certains insectes, jusqu'à leurs ailes, au profit de l'accumulation de réserves utilisées

pour l'alimentation des œufs. Dans ces conditions, on est conduit à se demander si la détermination du sexe n'est pas une affaire de nutrition, s'il ne serait pas possible, dès lors, de produire l'un ou l'autre à volonté, ou tout au moins de prévoir, à un moment donné, ce qu'il sera. Une telle espérance n'a rien de chimérique. Certaines abeilles, les ouvrières, préparent, au moment de la ponte, des loges spéciales pour les larves qui donneront des mâles et celles qui donneront des femelles, et l'on sait que notre abeille commune peut même, au cours de son évolution, amener, par une nourriture appropriée, la transformation d'une larve d'ouvrière stérile en larve de femelle féconde. La généralisation de ce résultat serait la mainmise de l'homme sur un des phénomènes qui lui ont paru jusqu'ici les plus mystérieux. Maître désormais de déterminer, à leur début, par de justes méthodes le sexe des organismes, connaissant tous les stades de leur évolution ultérieure, pourquoi n'essayerait-il pas de la diriger à son gré, pour obtenir des formes nouvelles qu'il pourrait prévoir d'avance au lieu de se borner à exploiter le jeu incertain des croisements? Le nombre infini des races de chiens, de volailles, de pigeons, de lapins, etc., qui ont été obtenues à peu près au hasard, montre à quel point ces espèces sont obéissantes, et nous avons vu que la détermination des formes est avant tout une affaire de chimie. Malheureusement, si grands que soient les résultats obtenus dans le dernier demi-siècle par la chimie organique, si variées, si complexes que soient les substances, surtout les substances albuminoïdes qu'elle a su réaliser, le problème de la composition, de la structure, des transformations possibles de ces dernières et de leurs relations est loin d'avoir reçu les solutions dont nous avons besoin pour progresser rapidement dans l'histoire de la vie. La question même de la nature de la vie pourrait bien se poser avant peu sur un tout autre terrain que celui où nous l'avons envisagée jusqu'ici. Nous considérons comme vivants des microbes qui passent à travers les filtres de

porcelaine et qui sont cependant visibles à l'ultra-microscope. Au contraire, les substances albuminoïdes ne passent pas à travers ces filtres, à cause de la grosseur de leurs molécules; ces molécules approchent donc de la limite de visibilité et dès lors on peut se demander si un microbe que l'on considère comme «organisé» diffère beaucoup d'un simple composé chimique qui, en raison même de la grosseur et du petit nombre des molécules qui le composent, aurait abandonné la forme géométrique des cristaux ordinaires pour prendre ces formes de grains, de bâtonnets droits ou courbes ou même d'hélices qui sont désignées sur les noms de microcoques, de bacilles, de bactéries, de spirilles, etc., par les microbiologistes. La vie élémentaire, dans cette conception, ne serait plus qu'une forme de réaction chimique dans laquelle la molécule vivante, au lieu de se détruire en abandonnant des débris aux substances avec lesquelles elle serait en contact, décomposerait celles-ci à son profit et s'accroîtrait à leurs dépens indéfiniment non pas en augmentant de volume par sa surface comme le font les cristaux, mais en se laissant pénétrer et en se multipliant par division de sa masse à mesure qu'elle s'accoîtrait. La *nutrition* aurait ici pour conséquence la *reproduction* qui aurait permis la conquête du monde aux êtres organisés se multipliant en progression géométrique.

Les variétés innombrables de fleurs que les horticulteurs savent produire démontrent que les organismes sont bien plus dociles qu'on ne le croit. Ce ne peut être que la présence de quelques substances spéciales ou même d'une seule qui détermine la formation de ces variétés, et il n'est pas, tant s'en faut, au-dessus des forces de la chimie actuelle, de définir ces substances et d'en réaliser la synthèse. Si l'homme réussissait dans cette voie, il serait devenu créateur et dès lors toute l'histoire des êtres disparus, que la paléontologie reconstitue si péniblement mais si brillamment, puisque le professeur Marcellin Boule est parvenu à retrouver la série des ancêtres, non pas

seulement des grands groupes, mais aussi de nos espèces actuelles, toute cette admirable histoire d'un passé prodigieusement lointain dont Cuvier a déchiffré les premières pages, pourrait recevoir une confirmation expérimentale. Sans doute le plus souvent c'est sur de simples ressemblances héréditaires que sont édifiées la plupart des généalogies dont nous devons actuellement nous contenter ; et la cause des caractères primitifs que nous voyons se modifier graduellement dans nos séries reconstituées nous échappe complètement ou ne peut être qu'imaginée à la suite d'une comparaison avec ce que nous voyons autour de nous ; aussi avons-nous cherché, dans ce livre, à placer les organismes dont nous avons conté l'histoire dans le milieu même où ils ont évolué en rattachant autant que possible aux conditions de ce milieu les modifications qu'ils ont éprouvées. Ces modifications résultent, en partie, de l'action directe des agents physiques, tels que la chaleur, la lumière et même certains de ceux démeurés si longtemps insoupçonnés qui se rattachent à l'électricité, comme les courants qui parcourent les muscles et les nerfs, ou se relient aux phénomènes de radioactivité ; mais elles relèvent surtout des actions chimiques qui s'accomplissent entre les produits innombrables résultant de l'activité des éléments anatomiques ou de leur déchéance. Isoler ces produits, déterminer leur composition chimique, se rendre compte de l'action de chacun d'eux sur les éléments constitutifs d'un organisme déterminé est une œuvre expérimentale de longue haleine, qui ne sera sans doute jamais achevée mais qui, courageusement entreprise, méthodiquement ordonnée, conduirait certainement à des résultats de la plus haute importance. C'est dans cette voie que l'Homme peut espérer conquérir la maîtrise de la vie. Cette conquête devait décourager les savants du XVIIIe siècle, qui ne pouvaient apercevoir aucun moyen de l'entreprendre, et qu'essayaient de suppléer les philosophes ; elle a été abordée par ceux du XIXe, non sans quelques

succès; elle a suscité déjà chez ceux du XXe un élan passionné que leurs conquêtes réalisées dans le domaine de la chimie biologique ne fera qu'attiser désormais.

Ils ont essayé de pénétrer la composition de la cellule vivante et elle leur est apparue d'une complexité étonnante au premier abord, mais de nature à expliquer le mystère de la Vie. On savait depuis longtemps que son noyau était en réalité un appareil complexe qui comprend notamment deux globules spéciaux, les *Centrisomes*, un réseau d'une substance fixant énergiquement le carmin, la *chromatine*, réseau qui se transformait, au moment de la division de la cellule, en un ruban festonné composé pour toutes les cellules d'un organisme, pour tous les organismes de la même espèce, d'un nombre constant de festons, capables de s'isoler et constituant alors des *chromosomes*.

Les botanistes avaient de leur côté connu et décrit les grains verts de *chlorophylle* grâce auxquels la plante, sous l'action du soleil, fabrique du sucre et exhale de l'oxygène ; ils connaissaient aussi les *leucites* qui produisent de l'amidon. Mais, dans les derniers temps, les découvertes se sont précipitées. En 1887, le Dr Raphaël Dubois (1) signalait dans le plasma des cellules des formes actives spéciales auxquelles il donnait le nom de *vacuolides* ; Altmann en fit plus tard des *bioplastes* et on les désigne communément aujourd'hui sous le nom de *mitochondries* que leur a donné Benda; tandis que leur ensemble est devenu le *chondriome*. Mais le chondriome lui-même n'est pas simple et en l'analysant au moyen de matières colorantes diverses M. Dangard distingue, au moins chez les végétaux, trois catégories d'éléments qui constituent ce qu'il nomme le *vacuome*, le *plastidime* (2) et le *sphérome*. Ces divers éléments grandissent, changent de forme et de modes de groupement, pro-

(1) R. Dubois, *Les vacuolides*, C. R. de la Société de Biologie, 8e série, t. IV. 1887.

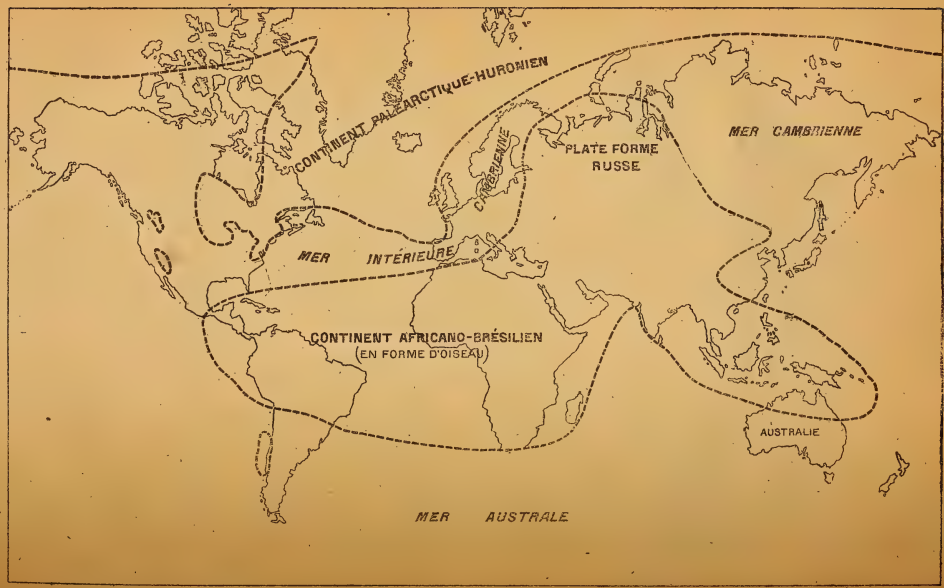
(2) Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1er décembre 1919, 9 février et 1er mars 1920.

duisent des substances diverses, en un mot, se nourrissent à la façon de microbes bienfaisants aidant la cellule à vivre au lieu de la détruire, comme les microbes ordinaires, et se comportant vis-à-vis d'elle à la façon de ces algines qui vivent en communauté ou, comme on dit, en *symbiose* avec les radiolaires ou avec les vers du genre *convoluta*. C'est ce qu'a voulu exprimer M. Portier en leur attribuant la dénomination de *symbiotes*. Ainsi nous sommes ramenés par ce détour de la symbiose à la question que nous examinions tout à l'heure de la nature de la Vie.

Les vastes horizons qui s'ouvrent désormais dépassent les limites anciennes de la science qui cherche déjà des solutions positives à des questions considérées naguère encore comme insolubles par l'observation ou l'expérience et strictement réservées aux spéculations philosophiques. Quels liens peuvent exister entre les réactions motrices des Infusoires, simples réflexes inéluctables des excitations du dehors, la sensibilité confuse et aveugle d'une Éponge et d'un Polype; l'instinct obscur d'un Ver, la prévoyance héréditaire si précise d'un Insecte qui ne peut guère s'expliquer que comme une intelligence dont les prescriptions d'abord conscientes se sont héréditairement figées, la libre intelligence des animaux supérieurs et la raison humaine ? Comment, parmi les éléments anatomiques, quelques-uns ont-ils accaparé la sensibilité, se sont-ils condensés en centres nerveux sans cesser de demeurer en rapport avec tous les autres éléments, d'en recevoir des informations, de leur donner des ordres grâce à un mécanisme dans lequel interviennent à la fois la matière, la chaleur, l'électricité, la lumière et peut-être d'autres agents entre lesquels on aperçoit aujourd'hui des liens inattendus (1) ? Comment, dans ce milieu, la pensée s'est-elle épanouie et a-t-elle acquis une puissance suffisante pour embrasser sans émoi l'immensité des mondes, s'attaquer à l'énigme de l'Univers et chercher à la résoudre ? C'est le secret de l'avenir.

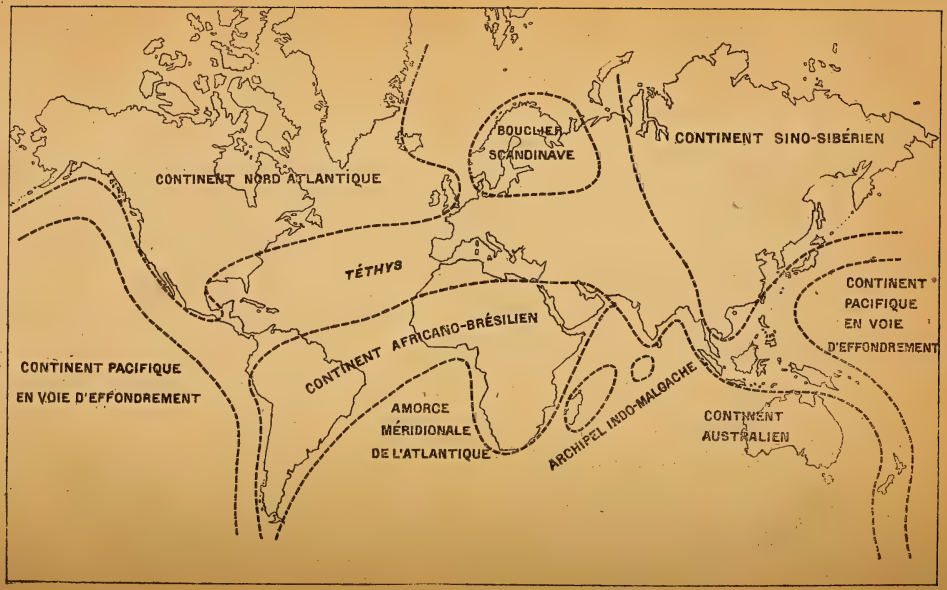
(1) Voir le beau livre de Jean Perrin : *Les Atomes*, Alcan, éditeur.

Pl. I. — Les terres émergées de l'hémisphère nord au début de la période primaire.



Pl. II. — Continents émergés à l'époque cambrienne.

Pl. III. — La Terre à la fin de la période primaire.



Pl. IV. — La Terre à la fin de la période secondaire.

BIBLIOGRAPHIE

PIERRE ACHALME, *Electronique et biologie*, 1914..... .....

Dr GUSTAVE LEBON, *L'Evolution de la matière*, 1915.... II

A. BERGET, *La vie et la mort du Globe*, 1912..... III

CHARLES ANDRÉ, *Les planètes*, 1909..... IV

DE LAPPARENT, *Traité de géologie*, 1re édit., 1883; 3e édit., 1893... V

HAUG, *Traité de géologie*, 1908-1911..... VI

DE LAPPARENT, *Géographie physique*, 1896..... VII

EMMANUEL DE MARTONNE, *Traité de géographie physique*, 1905... VIII

DE LAUNAY, *La Science géologique. Ses méthodes, ses résultats, ses problèmes, son histoire*, 1905..... IX

MARCELLIN BOULE, *Conférences de géologie*, 1911..... X

J. BOSLER, *Le radium*, mai 1913..... XI

LEFEBVRE, *Chaleur animale et bioénergétique*, 1911..... XII

VAN TIEGHEM, *Traité de botanique*, 1re édit., 1884..... XIII

LAMARCK, *La Philosophie zoologique. — Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*..... XIV

HŒCKEL, *Histoire de la création des êtres organisés d'après les lois naturelles*. Trad. française, 1874..... XV

DASTRE, *La vie et la mort*..... XVI

PAUL BECQUEREL, *L'action abiotique des rayons ultra-violets et l'origine cosmique de la vie*. Comptes rendus de l'Académie des sciences, 4 juillet 1910..... XVII

DANIEL BERTHELOT, *Les rayons ultra-violets et les actions vitales*. Séance solennelle de la Société de pathologie comparée, 12 décembre 1916..... XVIII

A. DE GRAMONT, *Sur les spectres stellaires et leur classification*. Annuaire du Bureau des longitudes, 1913..... XIX

L.-C. MAILLARD, *Recherches sur le mécanisme naturel des formations albuminoïdes*. Presse médicale, 17 février 1912..... XX

BERNARD RENAULT, *Sur quelques microorganismes des combustibles fossiles*..... XXI

ANCEL et BOUIN, *Recherches sur la signification physiologique de la glande interstitielle du testicule des mammifères*, Journal de physiologie et de pathologie générale, t. VI, p. 1012 ; 1904. XXII

ANCEL et BOUIN, *Recherches sur les fonctions du corps jaune gestatif*. Ibid. t. XII, p. 1 ; 1910 XXIII

CHARLES DARWIN, *L'origine des espèces*, 1859..... XXIV

CHARLES DARWIN, *La sélection sexuelle*..... XXV

WEISMANN, *Vorträge über Descendenztheorie*, 1902..... XXVI

EDMOND PERRIER, *Les colonies animales et la formation des organismes*, 1881..... XXVII

TREMBLEY, *Mémoire pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce à bras en forme de cornes*, 1744..... XXVIII

Dr ALEXIS CARREL, The Journal of experimental medicine, 1911 et 1912..... XXIX

DRIESCH, *Neue Ergänzerung zur Entwickelungsphysiologie des Echinidenkeimes*, Archiv für Entwickelungsmech. d. Organ., Bd 14, 1902, p. 500-531 ; — et *Zum Problem der Bilateralität des Echinodermenkeimes*, Verhandl. d. Gesellsch. Deutscher Naturforscher u. Aerzte, Bd 2, 1905, p. 205-206..... XXX

BATAILLON, *La segmentation parthénogénétique expérimentale chez les œufs de « Petromyzon Planeri »*, C. R. Ac. Sc., t. 137, 1903, p. 79-80 ; — et *Nouveaux essais de parténogénèse expérimentale chez les vertébrés inférieurs* (*Rana fusca* et *Petromyzon Planeri*), Arch. f. Entwickelungsmech. d. Organ., Bd 18, 1903-1904, p. 1-56..... XXXI

T.-H. MORGAN, *Regeneration in Teleosts*, Archiv f. Entwickelungsmech. d. Organ., Bd 10, 1900 ; — et *Further experiments on the regeneration of the tail of Fishes*, ibid., Bd. 14, 1902, p. 539-561. XXXII

NEWMANN ET PATTERSON, Biological Bulletin, t. XVII, 1909, et Journal of morphology, t. XXI, 1911 ; et MIGUEL FERNANDEZ, Morphologisches Jahrbuch, 1909..... XXXIII

P. MARCHAL, *Recherches sur la biologie et le développement des hyménoptères parasites*, La polyembryogénie ou germinogénie. Archives de zoologie expérimentale..... XXXIV

HARMER, *On the occurence of embryonic fusion in Cyclostomatum Polyzoon*, Quarterly Journal of microscopical sciences, 1891.... XXXV

CALVET, *Contribution à l'histoire naturelle des Bryozoaires marins*, 1900, p. 335..... XXXVI

YVES DELAGE, *L'hérédité*..... XXXVII

EDMOND PERRIER et CHARLES GRAVIER, *La tachygenèse ou accélération embryogénique ; son importance dans les modifications des phénomènes embryogéniques ; son rôle dans la transformation des organismes*. Annales des sciences naturelles, 1902 XXXVIII

BLARINGHEM, Bulletin scientifique du Nord de la France et de la Belgique, t. XLI, 1907..... XXXIX

DANTAN, *Le fonctionnement de la glande génitale chez l'Ostrea edulis et la Gryphæa angulata*. La protection des bancs naturels, C. R. Ac. Sc., t. 155, 1912 XL
E. PERRIER, *Expéditions du* Travailleur *et du* Talisman. *Les Stellérides* XLI
E. PERRIER, *Expédition du Cap-Horn. Les Stellérides* XLII
E. PERRIER, *Traité de zoologie* XLIII
ARNOLD LANG, *Versuch einer Erklärung der Asymetrie der Gasteropoden*, Vierteljahrschrit der Naturforsch. Gesellchaft, Zurich, 1891 XLIV
L. BOUTAN, *Recherches sur l'anatomie et le développement de la Fissurelle*. Archives de zoologie expérimentale, 2e série, III *bis*, 1885 XLV
A. ROBERT, *Embryogénie des Troques*. Archives de zoologie expérimentale, 3e série, X, 1903 XLVI
RÉMY PERRIER, *Recherches sur l'appareil rénal des Mollusques Gastéropodes prosobranches*. Annales des sciences naturelles, 1889 XLVII
L. BOUVIER, et H. FISCHER, *L'organisation et les affinités des gastéropodes primitifs d'après l'étude anatomique de la Pleurotomaria*. Bayrischer Journal der Conchyliologie, vol. IV, 1902. XLVIII
CHARLES GRAVIER, *Sur le système nerveux du Nautile*. Comptes rendus de l'Acad. des sciences XLIX
ETIENNE GEOFFROY-SAINT-HILAIRE, *Philosophie anatomique*, 1808 L
CARL SEMPER, *Die Stammsverwandtschaft der Wirbelthiere und Wirbellosen*, Arbeiten aus dem Zool-zootomischen Institut in Würzburg, t. II, 1875 et III, 1876-77 LI
BALFOUR, *A preliminary account of the development of Elasmobranch fishes*, Q. J. of miscroscopical Sciences, 1874. — *The development of Elasmobranch fishes*, Journal of Physiology, 1876. LII
Annales des sciences naturelles LIII
EDMOND PERRIER, *Les explorations sous-marines*, 1886 LIV
MAUPAS, *Modes et formes de reproduction des Nématodes*, Archives de zoologie expérimentale, 3e série, 1900 LV
DANTAN, *La sexualité des huîtres* LVI
VEIDOWSKY, *System und Morphologie der Oligocheten*, 1884 LVII
EDMOND PERRIER, *Histoire naturelle de la Dero obtusa*. Archives de zoologie expérimentale, t. I, 1871 LVIII
MAC LEOD, *Recherches sur la structure et la signification de l'appareil respiratoire des Arachnides*. Archives de biologie, t. V, 1884. LIX
ED. LAMY, *Recherches anatomiques sur les trachées des Araignées*. Annales des sciences naturelles, 1902 LX
M. BRAUN, *Moplatus fimberatus* (*Schneider*) *in Gefangenschaft*. Vœltskow Reise in Ostafrika in den Jahren 1903-1905. Band III LXI
HANS GADOW, *Amphibia and Reptilia*, Cambridge LXI

CHODAT, *Principes de botanique*, 2e édition, 1911..... LXIII

JAMES CLARKE, *On the Spongiæ ciliatæ as Infusoriæ*. Memoires of the Boston Society of natural history, vol. I, part. III, 1888... LXIV

EDWARD MORSE, *Cephalization. The Systematic position of Brachiopoda*, Proceedings of the Boston Society of Natural History, t. XV, 1873..... LXV

ARMAND GAUTIER, *Sur les rapports entre la composition des pigments de la vigne et ses variétés*. Comptes rendus de l'Acad. des sciences..... LXVI

EM. BOURQUELOT ET M. BRIDEL, *Synthèse des glucosides d'alcool à l'aide de l'émulsine et réversibilité des actions fermentaires*. Annales de chimie et de physique, 8e série, t. XXVIII, juin 1913. LXVII

ANTON DOHRN, *Studien über Urgeschichte der Wirbelthiers körper*. Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel (de 1882 à 1902)..... LXVIII

L. JOUBIN, *La vie dans les océans*, 1913..... LXIX

CH. GRAVIER, *Sur les annélides d'eau douce* LXX

EDMOND PERRIER, *Les Stellérides recueillis dans la mer des Antilles durant les dragages du Blake*..... LXXI

MARIE PEREYASLAWZEWA, *Sur le développement embryonnaire des Phrynes*. Annales des sciences naturelles, 8e série, t. XIII.. LXXII

ALLMANN, *A Mônography of gymnoblastic or tubularian Hydroïds*, 1871 (Publication de la Roy. Society)..... LXXIII

J. PÉREZ, *Des effets du parasitisme des Stylops sur les apiaires du genre Andresna*. Actes de la Société linnéenne de Bordeaux, t. XL, 1886... LXXIV

F. LE BEDDARD, *A Monograph of the order of Oligochæta*, 1895.... LXXV

GIARD, *La condition parasitaire*. Bulletin scientifique de la France et de la Belgique..... LXXVI

J.-HENRI FABRE, *Souvenirs d'un naturaliste*, 10 vol..... LXXVII

EDMOND PERRIER, *L'instinct*. Lecture à la séance annuelle des cinq académies de l'Institut de France LXXVIII

HOLLAND, *The osteology of the Chalicotheridæ*, 1914... LXXIX

HENRY FILHOL, *Mammifères fossiles de Ronzon*. Annales des sciences géologiques, XII, 1881..... LXXX

FIORENTINO AMEGHINO, *Les formations sédimentaires*... LXXXI

FIORENTINO AMEGHINO, *Etudes sur les vertébrés fossiles d'Issel*. Mémoires de la Société géologique, 1888..... LXXXII

FIORENTINO AMEGHINO, *Recherches sur les phosphorites du Quercy*, Annales des sciences géologiques, t. VII et VIII, 1876-1877.... LXXXIII

CH. DÉPERET, *L'Evolution des mammifères tertiaires*. Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1905-1906..... LXXXIV

CH. DÉPERET, *Recherches sur la succession des faunes de vertébrés miocènes de la vallée du Rhône.* Archives du Musée d'histoire naturelle de Lyon, 1887-1892 LXXXV

ALBERT GAUDRY, *Les enchainements du monde animal*, 1878-1883. LXXXVI

COPE, Nombreux mémoires dans les Recueils américains : American naturalist, Proceedings of Philadelphia Academy of natural history, N. S. geological Survey, à partir de 1877..... LXXXVII

G. CUVIER, *Recherches sur les ossements fossiles du bassin de Paris.* LXXXVIII

WOLDEMAR KOWALEWSKY, *On the osteology of the Hyopotamodæ.* Philosophical Transactions, 1873 LXXXIX

H.-F. OSBORN and J.-L. WORTMANN, *Fossil Mammals of the Wasatch and Wind Rivers.* Bulletin of the American Museum of natural history, 1892 XC

r.-F. OSBORN and J.-L. WORTMANN, *Fossil Mammals of the Lowe Miocene White River Beds.* Ibid., 1894..... XCI

SCOTT AND OSBORN, *The Mammals of the united formation*, Transactions of the American Philosophical Society, 1889..... XCII

R. MARTIN, *Die Fossilien von Java auf Grund einer Sammlung von Java*, 1891-1910..... XCIII

DOLLO, *Globideus Fraseri, Mosasaurien mylodonte nouveau...* et *L'ethologie de la nutrition chez les Mosasauriens*, Archives de Biologie, 1913, vol. XXVIII, p. 618-62 XCIV

[NOTA. — Cette bibliographie, sans présenter un classement systématique, suit d'une façon générale l'ordre des chapitres.]

INDEX

Adaptation, 87.
AFRIQUE, 24, 26, 27, 29, 31, 33, 55, 110, 185, 286, 288, 335.
AGASSIZ, 245, 271.
Age de la Terre, 35-6.
Ailes, 202, 205, 227, 347.
Albuminoïdes, 69, 73, 77, 79, 80.
Algonkien, 20, 21, 25.
Algues, 88, 111-2.
Allantoïde, 213, 320.
ALLMANN, 232, 244-5.
ALLEMAGNE, 24, 26, 57, 61.
ALPES, 20, 28, 32, 34, 54, 57, 60.
ALSACE, 58.
ALTAI, 17.
AMEGHINO, 339, 377, 381.
AMÉRIQUE, 13-4, 17, 22-3, 25, 30, 33, 36-7, 54, 90, 247, 275, 278, 287, 334-5, 341, 372, 376.
Ammonites, 84.
Amnios, 213, 220.
AMPÈRE, 167.
Amphinomes, 160.
Amphioxus, 90, 105, 158, 167-8, 185, 192, 197, 267.
Anatomie comparée, 156.
Angiospermes, 117-8, 129.
ANNAM, 117.
Année astronomique, 46.
Annélides, 145.
ANTILLES, 14, 31, 84.
ANTHONY, 292.
APENNINS, 17.
APALACHES, 17, 27, 57, 61.
ARABIE, 24.
Arachnides, 199, 200.
Archéen, 20, 21, 25, 109.
ARISTOTE, 363.
Armogénie, armogénèse, 106, 157,
ARRHÉNIUS (SVANTE), 4, 68.
Artiozoaires, 246.
Arthropodes, 144-5, 152, 173, 246, 276.
ARTOIS, 33-4.
ASIE, 13, 14, 17, 24, 335, 376.
ATLANTIQUE, 24, 31-4, 54-5, 57, 335.
Atomes, 2, 3.
Attitude, 148 ; II, V.
Attraction, 3.
AUSTRALIE, 13, 17, 26, 29, 31-3, 55, 185, 275, 341, 344.
Bactéries, 83, 111.
Bajocien, 31.
BALBIANI, 98.
BALBIANO, 80.
BALFOUR, 166.
Barysphère, 40-1.
BARRANDE (J. DE), 25.
BATAILLON, 90.
Batraciens, 53, 207, 209-11, 215, 219, 278, 305-6.
BEAUMONT (ÉLIE DE), 20.
BECQUEREL, 68.
BELGIQUE, 27-8, 30, 55-6.
BENDA, 395.
BERNARD (CLAUDE), 65, 89, 301, 388.
BERTHELOT (DANIEL), 77-8.
BERTHELOT (MARCELLIN), 66, 73.
BLAINVILLE (DE), 85.
BLANDET, 50.
BLARINGHEM, 119-121.
Blastoderme, 213.
Blastomères, 89.
BLAVET, 119.
BODE, 9.
BOHÊME, 17, 28.

BONNET (Charles), 85.
BORDAGE, 119.
BOSLER, 50.
BOULE, 361, 381, 393.
BOURQUELOT, 99.
BOUVIER, 165.
Brachiopodes, 258-260.
BRÉSIL, 26, 29, 31-35, 55.
BRETAGNE, 17, 33-5, 59, 334.
BRETAGNE (*GRANDE-*), (*Iles Britanniques*), 24, 27, 29, 30, 33, 45, 55, 58-9.
BRIDEL, 102.
BRONGNIART, 255.
BROWN-SEQUARD, 389
Bryozoaires, 135.
BUFFON, 9, 109.
BUNSEN, 8.
BURMEISTER, 351.
Calice, 118, 124.
CAMBODGE, 117,
Cambrienne, 20.
CANADA, 23, 25-7, 29, 54,
CAP, 29, 31, 54-5.
Carbonifère, 22 (56).
Carnassiers, 350, 36 1-2 369.
CARNEGIE, 313.
CARNOT, 4.
Carpelle, 117.
CARREL (A.), 89.
CASPIENNE, 29.
CAYEUX, 240.
Cellules, 88, 137.
Cellulose, 111, 286.
CEYLAN, 36.
Chaleur animale, 214 6.
Champignons, 74, 76, 88, 111-3.
CHATELIER (LE), 50.
Chaton, 118, 189.
CHAUVIN (M. de), 278.
Chimie organique, 72.
CHINE, 26, 29, 33, 54.
Chlorophylle, 73, 112.
CLAPARÈDE, 253.
CLARKE (J.), 242.
Coblentzien, 26.
Cœlome, 134.
COHN, 68.
Colonies animales, 148.
Concurrence vitale, 225.
Conifères, 52-3.
COPE, 351, 381.
Copépodes, 44, 173.
Coraux, 52, 54, 141, 179, 245, 290.
CORÉE, 24, 27.
Cornes, 363-4, 373.
Crétacé, 22.
CROLL, 62.
CROOKES, 2.
Crustacés, 177-9, 183, 192, 203.
Cryptogames, 118, 128.
CUVIER, 35, 52, 56, 67, 84-5, 110, 145, 165, 169, 189, 191, 321, 363, 366, 370, 381, 387, 388, 391, 394.
DANA, 245.
DANGEARD, 395.
DARWIN, 86, 154, 170, 225, 302-3, 375, 388.
DAVAUL, 119.
DAVID (A.), 53.
DELAGE, 103.
Dème, 137.
Dents, 307-8, 344-6, 356-68, 379-80.
DEPÉRET, 320.
Dévonien, 22, 54.
Diastases, 71.
Dicotylédones, 59, 239.
Dinantien, 27.
Disques imaginaux, 94.
DOHRN (A.), 156, 169, 214.
DOLLO, 326.
Douarnenez, 20, 35.
DOUVILLÉ, 27, 84, 290, 293.
DRIESCH, 90.
DUBOIS, 382, 395.
Echinodermes, 146, 148, 157, 159, 173, 262, 282.
Ecliptique, 46, 63.
ÉCOSSE, 17, 28-9, 334.
ÉGYPTE, 358, 372-3, 381.
Electrons, 3.
Embryogénie, 85.., 104-5. 134, 144, 157, 209-14, 217, 390.
Entomostracés, 145.
Eocène, 22.
Eogène, 22.
Epirogéniques (mouvements), 61.
Eponges, 135, 179, 241, 282.
Equinoxes, 48-9.
ERZGEBIRGE, 17.
ESPAGNE, 17, 24, 29, 32, 34, 60, 287.
Etamines, 117-8.
ÉTATS-UNIS, 17, 25.
Ether, 13, 41.
EUROPE, 13, 26, 61.
Évolution, 84, 95, 375.
FABRE (J.-H.), 304,
FERNANDEZ (Miquel), 90.
FEU (*Terre de*), 18.
Feuille, 113-5.
FILHOL, 367, 369, 371.
FINLANDE 23-4, 26, 60, 288.
FISCHER, 165.
Fleurs, 18, 125-7.
Foraminifères, 131.
FORÊT NOIRE, 17, 28.
FOUCAULT, 8.

Fougères, 52-3, 115, 117, 128-9.
FRANCE, 15, 24, 26-29, 56-59, 61.
Frasnien, 26.
FRAUNHOFER, 8.
FRICH (F.), 267.
Fusulines, 29.
GADOW (H.) 328.
Gastrula, 134.
GAUDECHON, 77.
GAUDIN, 383.
GAUDRY (A.), 277, 280, 284, 372 à 375, 382.
GAUTIER (A.) 72, 97, 232.
GEGENBAUR, 275.
GEIKIE, 62.
Génération spontanée 65.
Geothermique (degré), 39.
Germen, 94.
GIARD, 107, 232.
Glaciaire (climat), 52 ; (période), 20-1 ; glaciers, 35-6, 60-2.
Glandes, 216.
GOETHE, 129.
GONDWANA, 27, 30, 55, 57, 198, 246, 278, 344, 371.
Gothlandien, 26.
Graisses, 169.
GRAND'EURY, 117, 238.
GRAVIER, 183.
GRŒNLAND, 17, 23, 27, 29.
GRUBE, 253.
Gymnospermes, 117-8, 127, 129, 289.
HAACKE, 119.
HŒCKEL, 66, 104.
HARIOT, 119.
HARZ, 17.
HAUG, 84, 267.
HEER (O.), 337.
HEINRICHS, 10.
Hélium, 8, 36, 78-9.
HELMHOLTZ, 68.
Herbivores, 350.
HERBST, 90.
Hercynien, 17, 20, 27, 30, 45, 55-7, 60.
Hérédité, 95, 99, 102-3, 121, 148, 171, 189, 219-20.
Hermaphrodisme, 187-8, 191-4.
HIMALAYA, 17-8, 20, 32-4, 38, 54, 60.
HIRN, 4.
Histoblastes, 94.
HITCHCOCK, 314.
HOLLAND, 267, 313, 367.
HOLLANDE, 27-8.
Holothuries, 149, 176-7.
HOUSSAY, 268.
Huronien, 17, 20, 59.
HUXLEY, 65-6, 72, 316.
Hydrates de carbone, 69, 71, 73.
HYDRES, 135-140, 243.
Hyponomeutes, 90-1.
INDE, 24, 26, 29, 31-3, 54-5, 376, 381-2.
INDO-CHINE, 17, 24, 29.
Infusoires, 101, 131-3, 239.
INOSTRANZEFF, 236.
Insectes, 202..., 251-6, 300-4.
Instincts, 302-4.
Intelligence, 333, 385, 386.
ITALIE, 24, 26, 28, 33.
JANSSEN, 8.
JAPON, 25, 60, 83-4.
JEHRING (VON), 90.
JOLY, 65.
JOULE, 4.
Jurassique, 20, 22.
KAYSER (E.), 267.
KELVIN (LORD), 36, 50, 68.
KENT (SAVILLE), 291.
KEYSERLING, 67.
KING, 311.
KIRCHOFF, 8.
KLEIN, 119.
KOSSEL, 79.
KOWALEVSKY (W.), 352, 353, 361.
KUNCKEL D'HERCULAIS 94.
LABITTE, 258.
LACAZE-DUTHIERS (DE), 246.
LAMARCK, 35, 65, 109, 154, 158, 170, 219, 259, 356, 374, 382, 388.
LAMY, 200.
LANG (A.), 162-3.
LAPLACE, 5, 9.
LARTET, 366, 382.
LEIBNITZ, 85.
LEFEBVRE, 53.
LEOD (MAC), 199.
LEMOINE, 370.
LIGNIER, 128.
Lithosphère, 39.
Locomotion, 142-4.
Lumière, 1.
Lycopodes, 53, 56, 115.
LYELL (sir CHARLES), 109.
MADAGASCAR, 24, 29, 31-3, 55, 335-6.
MAILLARD, 79-80.
MALAISIE, 29.
Mammifères, 215-21, 228, 307-9, 341-77, 369 à la fin.
Mammouth, 52, 61.
MANCHE, 25.
MARCHAL, 91.
MARRON, 246.
Matière, 2-3.
MAUPAS, 193.

MAYER, 4.
MÉDITERRANÉE, 14, 24, 34, 62, 336.
Méduses, 139-40.
Membres, 348-56.
MENDELEEF, 2.
MERCERAT, 339.
Mérides, 135, 139.
MESETA, 17, 32-3, 334.
Métamorphisme, 15.
MEUNIER (STAN.), 40.
Milieu, 85, 95.
MILNE-EDWARDS, 253, 340.
Mimétisme, 174.
Miocène, 20, 22.
Mollusques, 59, 84, 146, 148, 150, 160-5, 263-7, 283, 291-8.
Monocotylédones, 52, 59, 127-8, 239.
MONSTRANZEFF, 235.
MONTALIVET (DE), 67.
MORENO, 339.
MORGAN (DE), 90.
MORSE, 258, 260.
MOSELEY, 246.
MOSJISOWICZ, 84, 267.
Mousses, 113, 115.
Mouvement, 3-4, 45.
MULLER (J.), 189.
MUNIER-CHALMAS, 266, 296.
MUSSET, 65.
Myriapodes, 251-2.
NANDIN (C.), 231.
Nauplius, 145.
Nebulium, 5.
Nématodes, 193.
Nerveux (*Système*), 165, 167, 384.
NEUMAYER, 27, 84, 290.
Noces (robes de), 97-8, 256-7.
Nutrition, 72.
Oiseaux, 215-6, 228-4, 328-31, 338.
OKEN, 66, 74.
Orbite, 46, 63.
Orographie, 16-20.
OSBORN, 368.
OWEN, 345, 346.
PACIFIQUE, 18, 22, 24, 31, 287, 290, 336.
PASTEUR, 65, 67, 387.
Patrogonie, 105.
PÉREZ (J.) 232.
PEREYASLAWZEVA (MARIE), 199.
Péridot, 40,
Permienne, 20, 22.
PERRIN, 396.
PETCHILI, 17.
PÉZARD, 389.
Placenta, 218, 342-3, 380.
Plankton, 84.
Plasma, 94.
Plastides, 88, 130, 137.
Pleistocène, 20.
Pliocène, 20, 22, 61, 85.
POINCARÉ (H.), 12.
Pôles, 13, 17, 46.
Pollen, 117, 184.
Polypes, 135, 141, 245, 283.
PORTIER, 396.
Portlandien, 31.
POUCHET, 65.
POURTALÈS, 244-[illegible].
Préadaptations, 156, 179, 184, 195, 205, 231.
PREYER, 68.
Primates, 369, 378-83.
Protoplasme, 66.
QUATREFAGES (DE), 138, 253, 381.
Radiolaires, 131.
Radium, 2, 35-6.
RAYLEIGH (lord), 2, 41.
RENAUD (B.), 238, 286.
Reproduction, 72.
Reptiles, 155, 220-1, 280-2, 307, 310-28, 33[illegible], 356-7, 360, 363.
Respiratoire (*Appareil*), 196-201, 206.
Rhizopodes, 131.
RICHTER, 68.
ROCHE, 41.
ROENTGEN, 3.
ROMANES, 302, 304.
Rongeurs, 357-50, 357, 361, 369, 376,
RUEDEMANN, 244.
Ruminants, 362, 4, 377.
RUSSIE, 24, 26, 28, 30, 57, 61, 281, 288.
SAHARA, 26-7.
SAINT-HILAIRE (GEOFFROY), 85, 103-4, 107, 166-8, 207, 365, 386,
SAINT-HILAIRE (ETIENNE GEOFFROY), 390.
SAINTONGE, 26.
Saisons 48-9.
SALLES-GUYON, 67.
SAVIGNY, 156.
SCANDINAVIE, 17, 23-4, 26-7, 29, 35, 54, 61.
SCHULZE (F.-E.), 272.
SCHUTZENBERG, 79.
Secondaire, 20, 57; III, I; 328.
SEDERHOLM, 236.
Sélection naturelle, 86, 225.
SEMPER, 88.
Sexes, 97-8, 102, 107, 119-121, 391-3.
SIBÉRIE, 17, 23, 25-6, 30-2.
SILÉSIE, 28, 30.
Silurienne, 22, 54.
Sociale (*Vie*), 87.
SPEGAZZINI, 119.

Spores, 68, 77, 113, 187, 284.
Stratigraphic, 19.
Structure (*Types de*), 146, 148, 157, 169.
STRUTT, 35.
Successives (créations), 84.
SUESS, 25, 27.
SUISSE, 58, 60.
Synclinaux, 16.
Taches solaires, 45-6.
Tachygénèse, 93, 100, 106-7, 209-14, 225, 238, 278, 285, 390.
Tactisme, 158, 301.
Tectonique, 19.
Télégonie, 221.
Ternaires (composés), 69.
Tertiaire, 20.
Théromorphes, 307-10,
TÉTHYS, 27, 30-1, 33, 59, 236, 250, 290, 335.
THÉVENIN, 282,
TIEGHEM (VAN), 68, 239.
TRASCIATTI, 80.
Tremblements de terre, 40-1, 46.
TREMBLAY, 135-6.
Triasique, 20-22, 30, 157, 310, 340.
Trilobites, 53, 249-51, 253, 273, 275, 281.
TYNDALL, 4.
Variations brusques, 231.
VEJDOWSKY, 195.
Vermidines, 135.
Vers, 144-5, 148, 158, 160, 165, 167, 170-1, 193, 242, 257, 276.
Vertébrés, 144, 147-8, 152, 166, 205, 214, 220, 267-277, 305.
VIOLLE, 50.
Vitalisme, 65.
Viviparité, 224.
Volcans, 18, 287.
Volonté, 356, 378.
VOSGES, 17, 28, 60.
VRIES (DE), 231.
WEISSMANN, 99.
WERTHEIM, 41.
Westphalien, 27.
Zoïde, 137.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

LA FORMATION DE LA TERRE

CHAPITRE I. — La naissance de la Terre..... 1
— II. — Les transformations successives des continents et des mers..... 15
— III. — Le Soleil et les climats..... 43

DEUXIÈME PARTIE

LES FORMES PRIMITIVES DE LA VIE

CHAPITRE I. — L'apparition de la Vie..... 64
— II. — Principes d'une généalogie explicative des organismes..... 83
— III. — La formation des grands types végétaux..... 110
— IV. — Les formes théoriques des animaux..... 130
— V. — Les animaux remaniés..... 148
— VI. — Le peuplement de la haute mer, des abîmes océaniques et des continents..... 172

TROISIÈME PARTIE

VERS LA FORME HUMAINE

CHAPITRE I. — La Vie durant la période primaire.....
— II. — La Vie durant la période secondaire..... 28
— III. — La Vie durant la période tertiaire..... 334
— IV. — La Forme humaine..... 378

CONCLUSION..... 387
CARTES..... 397
BIBLIOGRAPHIE..... 401
INDEX..... 407

ERRATA

P. 1, lig. 3. *Au lieu de :* « deux ans », *lire :* « un an environ ».
— 16, av.-dern. ligne. *Au lieu de :* « l'équateur. Soit... », *lire :* « l'équateur soit... ».
— 49, l. 11. *Au lieu de* peut s'élever à 1/145, *lire* peut s'élever à 1/11,5.
— 58, l. 22. *Lire :* « montagnes ».
— 69, av.-dern. et dern. lignes. *Lire :* « du carbone uni à de l'eau ; ce sont comme on dit... ».
— 98, l. 21. *Lire :* « fournie ».
— 100, n. 1. *Au lieu de* LXI, *lire* LXVI.
— 102, n. 1. *Au lieu de* LXII, *lire* LXVII.
— 143, l. 21. *Lire :* « Dans ceux-ci, il est évident... ».
— 156, n. 1. *Au lieu de* LXIII, *lire* LXVIII.
— 185, l. 6. *Lire :* « pouvait ».
— 204, l. 22. *Lire :* « tout ».
— 206, l. 9 et 10. *Lire :* « dans l'évolution organique le point de départ de ce progrès... »
— 219, l. 23. *Lire :* « le désaccord constaté ».
33. *Lire :* « conserve leurs mamelles ».
— 220, l. 3 et 4. *Lire :* « apparaître ce que l'on sait de leurs mœurs actuelles, mais que confirme le croisement... »
— 326, n. 1. *Au lieu de* XXX, *lire* : XCIV.
— 239, l. 25. *Lire :* « développée ».
— 240, l. 1. *Lire :* « crétacée ».
— 249, dern. lig. *Lire :* « elle-même ».
— 258, n. 1. *Au lieu de* LXV, *lire* LXXVI.
— 265, l. 6. *Lire :* « demeurent ».
— 275, n. 1. *Au lieu de* XL. III, *lire* XLIII.
— 320, l. 1. *Lire :* « puissantes ».
— 326, l. 24. *Lire :* « à dents ».
n. 1. *Au lieu de* XXX, *lire* XCIV.
— 346, l. 8. *Lire :* « de détail frappantes ».

Corbeil. — Imprimerie Crété.

[illegible]

[illegible] lig. 3. *Au lieu de* : « deux ans », *lire* : « [illegible]

[illegible] oit... »

[illegible] 14. *Au lieu de* pont : élever à 1/145, *lire* [illegible]

[illegible] 2. [illegible]

[illegible] 7.-dern. et dern. lignes. *Lire* : « du cas [illegible] somme on dit... »

[illegible] *Lire* : « fourni [illegible]

[illegible] *Lire* : « tou[illegible]

[illegible] *Lire* : « [illegible]

[illegible] 3 et 4. *Lire* : « apparaître ce que l'on sa[illegible]

[illegible] *Lire* : « développée ».

[illegible] *Lire* : « crétacée [illegible]

[illegible] *Au lieu de* LXV, *lire* LXXVI.

[illegible] *Lire* : « demeurent ».

[illegible] *Au lieu de* XL, III, *lire* XL.

[illegible] *Lire* : « puissantes ».

[illegible] *Au lieu de* XXX, *lire* XCIV

[illegible] *Lire* : « on détail frappante. »

[illegible]

L'ÉVOLUTION DE L'HUMANITÉ

PREMIÈRE SECTION

Introduction (Préhistoire, Protohistoire); Antiquité.

Vol. 1. — **La Terre avant l'Histoire** (*Les origines de la Vie et de l'Homme*), par Edmond Perrier.
Vol. 2. — **L'Humanité préhistorique** (*Esquisse de Préhistoire générale*), par Jacques de Morgan.
Vol. 3. — **Le Langage** (*Introduction linguistique à l'Histoire*), par J. Vendryès.
Vol. 4. — **La Terre et l'Histoire** (*Introduction géographique à l'Histoire*), par Lucien Febvre.
Vol. 5. — **Les Races et l'Histoire** (*Introduction ethnographique à l'Histoire*), par J. Deniker.
Vol. 6. — **Des Clans aux Empires** (*Les formes élémentaires et le développement de la Vie sociale*), par A. Moret, avec le concours de M. Davy.
Vol. 7. — **Le Nil et la Civilisation égyptienne**, par A. Moret.
Vol. 8. — **La Mésopotamie et la Civilisation chaldéo-assyrienne**, par L. Delaporte.
Vol. 9. — **La Méditerranée et la Civilisation égéenne**, par G. Glotz.
Vol. 10. — **La formation du Peuple grec**, par A. Jardé.
Vol. 11. — **Le Génie grec dans la Religion**, par C. Sourdille.
Vol. 12. — **L'Art en Grèce**, par A. de Ridder.
Vol. 13. — **La Pensée grecque et les origines de l'Esprit scientifique**, par L. Robin.
Vol. 14. — **La Cité grecque** (*Le développement des Institutions*), par G. Glotz.
Vol. 15. — **L'Impérialisme macédonien et l'Hellénisation de l'Orient**, par P. Jouguet.
Vol. 16. — **L'Italie primitive et les débuts de l'Impérialisme romain**, par Léon Homo.
Vol. 17. — **Rome et la Grèce** (*Le Génie romain dans la Religion, la Littérature et l'Art*), par Albert Grenier.
Vol. 18. — **Les Institutions politiques romaines : République et Césarisme**, par Léon Homo.
Vol. 19. — **Rome et l'organisation du Droit**, par J. Declareuil.
Vol. 20. — **L'Économie antique**, par J. Toutain.
Vol. 21. — **Les Celtes**, par Henri Hubert.
Vol. 22. — **L'Empire romain**, par Victor Chapot.
Vol. 23. — **La Germanie**, par Henri Hubert.
Vol. 24. — **La Perse**, par Clément Huart.
Vol. 25. — **La Chine et l'Asie centrale**, par Marcel Granet.
Vol. 26. — **L'Inde**, sous la direction de Sylvain Lévi et A. Foucher, par J. Bacot, A. Baston, J. Bloch, et P. Masson-Oursel.

Corbeil. — Imprimerie Crété.

THE LIBRARY SMITHSONIAN INSTITUTION

THE LIBRARY SMITHSONIAN INSTITUTION
BOUND BY HNM

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 00281993 6
nhanth QH366.P45
La terre avant l'histoire;